



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TL 141584

**ANALISIS KEGAGALAN KOMPONEN
SPRING ROD DALAM *SPRING SUSPENSION*
ASSEMBLY PADA *COAL MILL* TUBAN I PT.
SEMEN INDONESIA TBK.**

Ryan Tri Kurniawan

2713 100 131

Dosen Pembimbing

Lukman Noerochim, S.T., M.Sc.Eng, PhD.

Alvian Toto Wibisono, S.T., M.T.

Departemen Teknik Material

Fakultas Teknologi Industri

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2017



TUGAS AKHIR - TL141584

ANALISIS KEGAGALAN KOMPONEN SPRING ROD DALAM SPRING SUSPENSION ASSEMBLY PADA COAL MILL TUBAN I PT. SEMEN INDONESIA TBK

RYAN TRI KURNIAWAN
NRP. 2713 100 131

Dosen Pembimbing :
Lukman Noerochim, S.T., M.Sc. Eng., PhD
Alvian Toto Wibisono, ST., MT

Departemen Teknik Material
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2017

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



FINAL PROJECT - TL141584

FAILURE ANALYSIS OF SPRING ROD COMPONENT IN SPRING SUSPENSION ASSEMBLY IN COAL MILL TUBAN I PT. SEMEN INDONESIA TBK

RYAN TRI KURNIAWAN
NRP. 2713 100 131

Advisor :

Lukman Noerochim, S.T., M.Sc. Eng., PhD
Alvian Toto Wibisono, ST., MT

Materials Engineering Department
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya
2017

(this page left intentionally blank)

**ANALISIS KEGAGALAN KOMPONEN SPRING ROD
DALAM SPRING SUSPENSION ASSEMBLY PADA COAL
MILL TUBAN I PT. SEMEN INDONESIA TBK**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi Teknik Korosi dan Analisa Kegagalan
Program Studi S-1 Departemen Teknik Material
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Ryan Tri Kurniawan
NRP. 2713 100 131

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Lukman Noerochim, S.T., M.Sc. Eng., PhD. (Pembimbing 1)
2. Alvian Toto Wibisono, S.T., M.T. (Pembimbing 2)



(halaman ini sengaja dikosongkan)

Analisis Kegagalan Komponen Spring Rod dalam Spring Suspension Assembly pada Coal Mill Tuban I PT. Semen Indonesia Tbk

Nama : Ryan Tri Kurniawan
NRP : 2713100131
Jurusan : Departemen Teknik Material FTI ITS
Dosen Pembimbing : Lukman Noerochim, S.T., M.Sc. Eng., PhD
Co-Pembimbing : Alvian Toto Wibisono, S.T., M.T.

Abstrak

Spring rod merupakan bagian komponen dari *Coal mill* yang berfungsi sebagai tempat penggilingan batubara. *Spring rod* berfungsi untuk menahan getaran dari *grinding roller* yang berputar menggiling batu bara. Komponen *spring rod* merupakan batang berulir yang tersambung ke sistem *hydraulic*. Dalam penelitian ini, dilakukan analisa penyebab terjadinya kegagalan pada *spring rod* di *coal mill* dengan tujuan menganalisa faktor penyebab dan mekanisme terjadinya kegagalan komponen *spring rod* dalam *spring suspension assembly* pada *coal mill*. Pengujian yang akan dilakukan untuk menganalisa kegagalan ini adalah uji komposisi, pengamatan makroskopik, uji mikroskopik, dan uji kekerasan. Setelah dilakukan pengujian tersebut didapatkan faktor yang menyebabkan terjadinya kegagalan komponen *spring rod* pada *coal mill* Tuban 1 yaitu kesalahan pemilihan material dan kesalahan perlakuan panas. Mekanisme kegagalan komponen *spring rod* pada *coal mill* Tuban 1 diawali oleh *initial crack* pada akar gigi pada ulir dikarenakan adanya tegangan yang berulang yang kemudian retakan merambat pada permukaan *spring rod* sebelum terjadinya *final fracture* dikarenakan *spring rod* tidak mampu menahan tegangan yang terjadi sehingga menyebabkan *fatigue failure*.

Kata kunci : *Spring, Rod, Coal Mill, Failure*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

Failure Analysis of Spring Rod Component in Spring Suspension Assembly in Coal Mill Tuban I PT. Semen Indonesia Tbk

Student Name : Ryan Tri Kurniawan
Student ID : 2713 100 131
Department : *Materials Engineering*
Advisor : Lukman Noerochim, S.T., M.Sc. Eng., PhD
Co-Advisor : Alvian Toto Wibisono, S.T., M.T.

Abstrak

Spring rod is a part of component in Coal Mill, that has a function as a place for milling or grinding the coal. Coal Mill in PT. Semen Indonesia is using vertical roller mill type. Spring rod has a function to resist the vibration from grinding roller. Grinding roller is a part that has a function to grinding the coal. Spring rod component is a threaded rod and connecting with hydraulic system. Spring rod in Coal Mill Tuban I has been worked for 10 years. This final project will analyse failure factor of the spring rod in Coal Mill Tuban I in purpose to analysing causing factor and mechanism in spring rod failure in Coal Mill Tuban I. Tests that carrying out this material is composition test, macroscopic observation, metallographic, and hardness test. Factors that causing spring rod failure are material selection error and heat treatment error. Mechanism of spring rod failure in Coal Mill Tuban I was began with initial crack at the edge of spring because of cyclic stress. Then the crack was propagating on the surface of spring rod and then the final fracture happened because spring rod cannot endure the stress, so that was causing fatigue failure.

Kata kunci : Spring, Rod, Coal Mill, Failure

(this page left intentionally blank)

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT, karena berkat rahmat dan hidayah-Nya, tidak lupa shalawat serta salam penulis panjatkan kepada Nabi Muhammad SAW sehingga penulis diberi kesempatan untuk menyelesaikan Tugas Akhir. Tugas Akhir ditujukan untuk memenuhi mata kuliah wajib yang harus diambil oleh mahasiswa Jurusan Teknik Material dan Metalurgi Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), penulis telah menyelesaikan Laporan Tugas Akhir yang berjudul **“Analisis Kegagalan Komponen Spring Rod Dalam Spring Suspension Assembly pada Coal Mill Tuban I PT. Semen Indonesia Tbk”**. Penulis ingin berterima kasih juga kepada :

1. Kedua Orang Tua dan Kakak - kakak yang telah mendukung secara moril maupun materil serta doa yang selalu dipanjatkan demi kesehatan dan keselamatan anaknya.
2. Bapak Dr. Agung Purniawan, S.T, M.Eng., selaku Ketua Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS.
3. Bapak Lukman Noerochim S.T., M.Sc. Eng., PhD selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah memberikan bekal yang sangat bermanfaat.
4. Bapak Alvian Toto W, S.T., M.T selaku co dosen Pembimbing yang telah banyak membanyak memberikan ilmu.
5. Dr. Eng. Hosta Ardhyanta ST., M.Sc. selaku Koordinator Tugas Akhir Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS.
6. Bapak Budi Agung Kurniawan S.T., M.Sc Selaku dosen wali yang sangat mengayomi
7. Seluruh dosen dan karyawan Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS.
8. Bapak Didik selaku pembimbing di PT. Semen Indonesia.

9. Rekan-rekan mahasiswa Teknik Material dan Metalurgi angkatan 2013, 2014, dan 2015.
10. Serta seluruh pihak yang belum bisa dituliskan satu per satu oleh penulis. Terimakasih atas dukungan dan bantuan teman-teman sekalian.

Penulis menyadari bahwa dalam pembuatan laporan ini masih terdapat kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik yang membangun dari pembaca demi perbaikan dan kemajuan bersama. Penulis berharap laporan kerja praktik ini dapat bermanfaat dan dimanfaatkan dengan sebaik-baiknya

Surabaya, Juli 2017
Penulis,

Ryan Tri Kurniawan
2713100131

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	v
ABSTRAK.....	vii
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL.....	xxi
BAB I PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Batasan Masalah.....	3
1.4. Tujuan Penelitian.....	3
1.5. Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Pengertian Vertical Roller Mill	5
2.2. Pengertian Loading System.....	7
2.3. Baja.....	8
2.4. Baja Paduan AISI 4140	9
2.5. Diagram Fase Fe-Fe ₃ C	10
2.6. Analisa Kegagalan.....	12
2.7. Prosedur dalam Analisa Kegagalan.....	15
2.8. Patah Getas dan Patah Ulet	15
2.8.1 Patah Ulet	17

2.8.2. Patah Getas	20
2.9. Mekanisme Pembentukan Patah Lelah.....	21
2.9.1 Tahap Retak Awal (Crack Initiation)	23
2.9.2 Tahap Perambatan Retak (Crack Propagation).....	24
2.10. Karakteristik Patahan.....	25
2.11. Pengujian Kekerasan	27
2.12. Penelitian Sebelumnya	28
2.12.1. Kegagalan pada Crank Shaft Silinder Tunggal.....	28
2.12.2. Analisis Kegagalan Baut Pengikat Gearbox pada Lokomotif Kereta Rel Diesel Elektrik (Krde)	30
2.12.3. Analisis Sifat Mekanik pada Material AISI 4140 dan Creusabro 8000 untuk Aplikasi Gigi Bucket Produksi PT. Polman Swadaya.....	32

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Diagram Alir Penelitian.....	37
3.2. Metode Penelitian	38
3.3. Material yang digunakan	38
3.3.1. Material.....	38
3.3.2. Spesimen.....	39
3.4. Peralatan	40
3.5. Tahapan Penelitian	42
3.5.1. Review Dokumen Perusahaan	42
3.5.2. Preparasi Spesimen.....	42
3.5.3. Uji Komposisi.....	43

3.5.4 Pengamatan Makroskopik	43
3.5.5 Pengamatan Mikroskopik.....	44
3.5.6 Uji Kekerasan	45
3.5.6 Analisa Titik Kritis (FEM)	45
3.6. Rancangan Penelitian	46
BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN	
4.1. Analisa Data Kegagalan Material.....	49
4.1.1. Record Spring Rod di Coal Mill Tuban 1	49
4.1.2. Pengamatan Hasil Makro	52
4.1.3. Pengamatan Hasil Streomicroscope	54
4.1.4. Hasil Pengujian Komposisi Kimia	56
4.1.5. Hasil Pengujian Metalografi.....	57
4.1.6. Hasil Pengujian Kekerasan Vickers	59
4.1.7. Analisa Titik Kritis.....	61
4.2. Pembahasan	63
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan.....	67
5.2 Saran.....	67
DAFTAR PUSTAKA	xxiii
LAMPIRAN.....	xxv
UCAPAN TERIMAKASIH.....	xxix
BIODATA PENULIS.....	xxxi

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1	Komponen utama <i>Vertical Roller Mill</i>	5
Gambar 2. 2	Komponen <i>Fuller Vertical Roller Mill</i>	6
Gambar 2. 3	Rangkaian komponen <i>loading system</i>	7
Gambar 2. 4	Diagram fase Fe - Fe ₃ C.....	12
Gambar 2. 5	Skematik ciri patah getas dan patah ulet dari diagram tegangan - regangan	16
Gambar 2. 6	(a) bentuk patahan ulet, (b) bentuk patahan ulet setelah terjadi necking, (c) bentuk patahan getas tanpa terjadi deformasi plastis.....	17
Gambar 2. 7	Tahap patahan cup dan cone (a) awal necking, (b) terbentuknya cavity kecil, (c) pengumpulan cavity hingga menjadi retakan, (d) perambatan retak, (e) patahan geser dengan sudut 45° terhadap arah tegangan	18
Gambar 2. 8	(a) patah ulet (cup and cone) pada aluminium, dan (b)patah getas pada mild steel	19
Gambar 2. 9	(a) SEM yang menunjukkan spherical dimple karakteristik, patahan hasil beban tarik uniaxial, 3300x, dan (b) SEM yang menunjukkan spherical dimple karakteristik hasil beban geser, 5000x	19
Gambar 2. 10	(a) Foto yang menunjukkan bentuk V “chevron” sebagai karakteristik patah getas dan (b) Foto yang menunjukkan permukaan patah getas daerah asal retakan	20
Gambar 2. 11	(a) skema perambatan retak yang melewati butir (<i>transgranular</i>) (b) hasil SEM dari patah secara transgranular.....	21

Gambar 2. 12	(a) skema perambatan retak yang terjadi sepanjang batas butir (<i>intergranular</i>) (b) hasil SEM dari patah secara <i>intergranular</i>	21
Gambar 2. 13	Skematis permukaan lelah pada penampang bulat	22
Gambar 2. 14	Mekanisme patah lelah dan faktornya	23
Gambar 2. 15	Model Wood untuk pengintian retak.....	24
Gambar 2. 16	Mekanisme penumpulan ujung retakan secara plastis (a) beban nol (b) beban tarik kecil (c) beban tarik maksimum (d) beban - tekan kecil (e) beban tekan maksimum (f) beban tarik kecil	25
Gambar 2. 17	Foto SEM yang menunjukkan <i>Beachmarks</i> dan striasi secara mikro	26
Gambar 2. 18	Retakan dengan pola rambatan (a) Transgranular (b) Intergranular	27
Gambar 2. 19	Mikrostruktur lapisan permukaan dengan perbesaran 200x pada (a) <i>crank</i> 1 (b) <i>crank</i> 2	29
Gambar 2. 20	Mikrografik SEM pada permukaan yang patah pada (a) <i>crank</i> 1 (b) <i>crank</i> 2	29
Gambar 2. 21	Mikrografik SEM yang menunjukkan adanya garis <i>benchmark</i> pada (a) <i>crank</i> 1 (b) <i>crank</i> 2	30
Gambar 2. 22	Baja karbon-sedang dengan fraktur kelelahan di sebagian besar penampang sebelum pecah akhir .	30
Gambar 2. 23	Pembagian posisi pengujian kekerasan	31
Gambar 2. 24	Struktur mikro baut dengan perbesaran 200x	32
Gambar 2. 25	Hasil pengujian mikrostruktur pada sampel A	34
Gambar 2. 26	Hasil pengujian mikrostruktur pada sampel B	34
Gambar 2. 27	Hasil pengujian mikrostruktur pada sampel C	35
Gambar 2. 28	Hasil pengujian mikrostruktur pada sampel D	35
Gambar 3. 1	Diagram Alir Penelitian	37

Gambar 3. 2	Komponen <i>spring rod</i> yang patah.....	39
Gambar 3. 3	(a) Potongan komponen <i>spring rod</i> pada bagian yang patah dan (b) daerah untuk pengujian kekerasan pada bagian yang dekat dan jauh dari patahan	40
Gambar 3. 4	Universal Hardness Tester	41
Gambar 3. 5	Mikroskop Optik <i>Olympus BX41 M-RF</i>	41
Gambar 3. 6	<i>Stereomicroscope Carl Zeiss Stemi DV4</i>	42
Gambar 3. 7	(a) Kamera merk Nikon tipe DSLR (b) <i>Stereomicroscope Carl Zeiss Stemi DV4</i>	44
Gambar 3. 8	Mikroskop Optik <i>Olympus BX41 M-RF</i>	45
Gambar 3. 9	Universal Hardness Tester	45
Gambar 4. 1	Desain <i>Coal Mill</i> Tuban 1	49
Gambar 4. 2	Desain <i>spring suspension assembly</i>	50
Gambar 4. 3	Desain <i>spring rod</i> pada <i>spring suspension assembly</i>	51
Gambar 4. 4	Tegangan yang bekerja pada <i>spring rod</i>	52
Gambar 4. 5	Foto makro permukaan <i>spring rod</i> yang mengalami kegagalan secara horizontal pada sudut pandang yang berbeda	53
Gambar 4. 6	Foto makro permukaan <i>spring rod</i> yang mengalami kegagalan secara vertikal (a) sebelum dilakukan <i>liquid penetrant test</i> (b) setelah dilakukan <i>liquid penetrant test</i>	54
Gambar 4. 7	Foto <i>stereomicroscope</i> pada daerah patahan <i>tension – compression</i> pada (a) <i>initial crack</i> ; (b) <i>crack propagation</i> ; (c) <i>final crack</i> ; (d) <i>beachmarks</i>	55
Gambar 4. 8	Foto struktur mikro pada perbesaran 1000x: (a) jauh dari patahan; (b) dekat dari patahan	58

Gambar 4. 9 Diagram *continuous cooling transformation* AISI 414059

Gambar 4. 10 Titik indentasi pengujian kekerasan59

Gambar 4. 11 Grafik nilai kekerasan pada material jauh dari patahan dan dekat dari patahan.....60

Gambar 4. 12 Analisa tegangan dengan batasan (a) *fixed support* (b) tekanan *hydraulic pneumatic*62

Gambar 4. 13 Permodelan setelah dilakukan *meshing*.....62

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Komposisi Kimia Komposisi Kimia Baja Paduan AISI 4140	9
Tabel 2. 2 Sifat Mekanik dari Baja Paduan AISI 4140	9
Tabel 2. 3 Permasalahan dalam kegagalan komponen mesin	13
Tabel 2. 4 Kasus kegagalan material akibat perawatan komponen mesin	13
Tabel 2. 5 Penyebab kegagalan dalam komponen mesin	14
Tabel 2. 6 Hasil pengujian kekerasan	31
Tabel 2. 7 Material dengan variasi perlakuan panas.....	33
Tabel 3. 1 Komposisi Kimia <i>Spring Rod</i>	39
Tabel 3. 2 Rancangan penelitian.....	47
Tabel 4. 1 Dimensi <i>spring rod</i> pada <i>Coal Mill</i> Tuban 1	51
Tabel 4. 2 Data operasi <i>Coal Mill</i> Tuban 1.....	51
Tabel 4. 3 Hasil uji komposisi	56
Tabel 4. 4 Data hasil pengujian kekerasan	60

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

PT. Semen Indonesia yang dulu PT Semen Gresik merupakan produsen semen terbesar di Indonesia. Diresmikan di Gresik pada tanggal 7 Agustus 1957 oleh Presiden RI pertama dengan kapasitas terpasang 250.000 ton semen per tahun. Pada tanggal 20 Desember 2012, melalui Rapat Umum Pemegang Saham Luar Biasa (RUPSLB) Perseroan, resmi mengganti nama dari PT Semen Gresik (Persero) Tbk, menjadi PT Semen Indonesia (Persero) Tbk. Penggantian nama tersebut, sekaligus merupakan langkah awal dari upaya merealisasikan terbentuknya Strategic Holding Group yang ditargetkan dan diyakini mampu mensinergikan seluruh kegiatan operasional.

Saat 2014 kapasitas terpasang Semen Indonesia sebesar 31,8 juta ton semen per tahun, dan menguasai sekitar 42% pangsa pasar semen domestic. PT. Semen Indonesia memiliki anak perusahaan PT. Semen Gresik, PT. Semen Padang, PT. Semen Tonasa dan Thang Long Cement. Untuk PT Semen Indonesia sendiri memiliki 4 pabrik dengan kapasitas terpasang 8,5 juta ton semen per tahun yang berlokasi di Desa Sumberarum, Kec Kerek, Tuban, Jawa Timur.

Semen sendiri terdiri atas bahan baku utama dan bahan baku tambahan jika ditinjau dari segi fungsinya. Material yang termasuk bahan baku utama adalah batu kapur (CaCO_3), *clay* (tanah liat), pasir silika (SiO_2), *iron sand* (Fe_2O_3). Serta bahan baku tambahan dari semen adalah *trass*, *gypsum* dan dolomit. Proses produksi semen yang pertama yaitu penambangan bahan baku untuk pembuatan semen terutama batu kapur (CaCO_3) dan *clay* (tanah liat) menggunakan alat-alat berat kemudian dikirim ke pabrik, yang kedua, bahan-bahan yang telah ditambang kemudian diteliti di laboratorium kemudian dicampur dengan proporsi yang tepat dan kemudian dilanjutkan ke proses penggilingan awal (*raw mill*) untuk memperkecil dimensi material. Proses selanjutnya



adalah bahan kemudian dipanaskan di *preheater*, dilanjutkan di dalam kiln sehingga bereaksi membentuk kristal klinker. Kiln ini menggunakan bahan dasar pembakaran batu bara yang sebelumnya diproses di *coal mill* yang berjenis *vertical roller mill*, agar ukuran batu bara ini dapat digunakan pada kiln. Kristal klinker ini kemudian didinginkan di *cooler* dengan bantuan angin. Panas dari proses pendinginan ini di alirkan lagi ke *preheater* untuk menghemat energi. Klinker ini kemudian dihaluskan lagi dalam tabung yang berputar yang bersisi bola-bola baja yaitu pada *ball mill* sehingga menjadi serbuk semen yang halus. Klinker yang telah halus ini disimpan dalam silo. Dari silo ini semen di *packing* dan dijual ke konsumen. (Semenpadang.co.id)

Pabrik Semen sendiri memiliki banyak komponen penunjang salah satunya yang berperan penting ialah tempat penggilingan batubara (*coal mill*) yang sudah dijelaskan sebelumnya. Tempat ini berfungsi sebagai penghancur batubara yang nantinya hasil dari *coal mill* ini digunakan sebagai bahan bakar untuk pabrik semen, yaitu pada proses pembakaran di *rotary kiln*. *Coal Mill* pada PT. Semen Indonesia menggunakan jenis *vertical roller mill*. Pada *vertical roller mill* ini, terdapat bagian yang dinamakan *spring suspension assembly* yang berfungsi untuk menahan getaran dari *grinding roller* yang berputar menggiling batu bara. Pada *spring suspension assembly* ini, terdapat bagian yang dinamakan *spring rod* atau batang pegas yang tersambung ke sistem *hydraulic*. Namun, pada saat dilakukan *maintenance* pada *Coal Mill* Tuban 1 yang dilakukan pada Januari 2017, ditemukan *spring rod* yang telah patah menjadi 2 bagian, sehingga *spring rod* tersebut harus diganti secara keseluruhan, sehingga sangat merugikan PT. Semen Indonesia karena *coal mill* Tuban 1 ini tidak dapat berjalan dengan baik dan mengganggu proses pada pembuatan semen. *Spring rod* pada *coal mill* Tuban 1 ini telah bekerja selama 10 tahun. Untuk hipotesa awal, kemungkinan terjadinya patahan dikarenakan oleh kegagalan lelah (*fatigue failure*). Patah lelah dapat dilihat adanya lokasi yang dapat

BAB I PENDAHULUAN



menginisiasi adanya retakan lelah. Patahan yang terjadi akibat dari proses lelah dapat disimpulkan dari striasi dan adanya *beachmark* pada penampang permukaan yang patah (Bayrakceken, 2007). Maka dari itu, dilakukanlah analisa terhadap kegagalan ini untuk membuktikan hipotesa awal tersebut, dan untuk menanggulangi hal tersebut, maka dilakukanlah analisa kegagalan terhadap *spring rod* pada *spring suspension assembly* agar kegagalan ini tidak terjadi lagi.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Faktor apa yang menyebabkan kegagalan komponen *spring rod* dalam *spring suspension assembly* pada *coal mill*?
2. Bagaimana mekanisme kegagalan pada komponen *spring rod* dalam *spring suspension assembly* pada *coal mill*?

1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian ini menjadi terarah dan memberikan kejelasan analisis permasalahan, maka dilakukan pembatasan permasalahan sebagai berikut :

1. Desain *spring rod* dalam *spring suspension assembly* memenuhi standard operasional.
2. Proses operasional sesuai dengan standard prosedur.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah :

1. Menganalisa faktor penyebab terjadinya kegagalan komponen *spring rod* dalam *spring suspension assembly* pada *coal mill*.
2. Menganalisa mekanisme kegagalan pada komponen *spring rod* dalam *spring suspension assembly* pada *coal mill*.



1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diambil dari penelitian ini adalah:

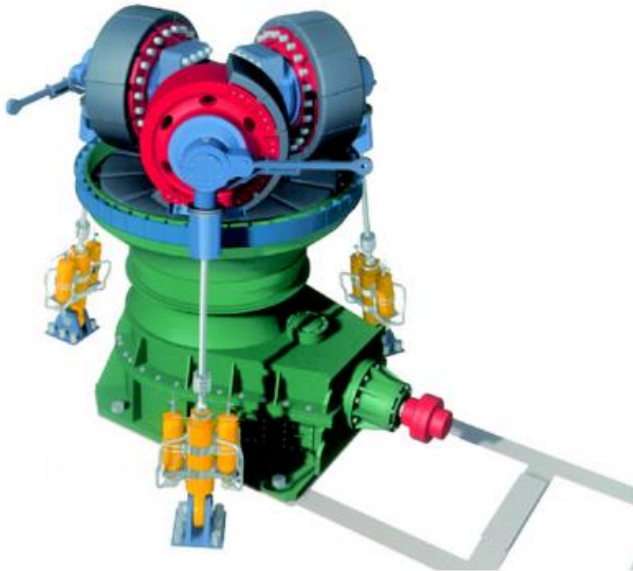
1. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan penanganan bila terjadi kegagalan yang sama dikemudian hari, dari segi penyebab kegagalannya maupun segi solusi yang ditawarkan.
2. Dasar pengembangan pada ilmu pengetahuan berikutnya.

BAB II

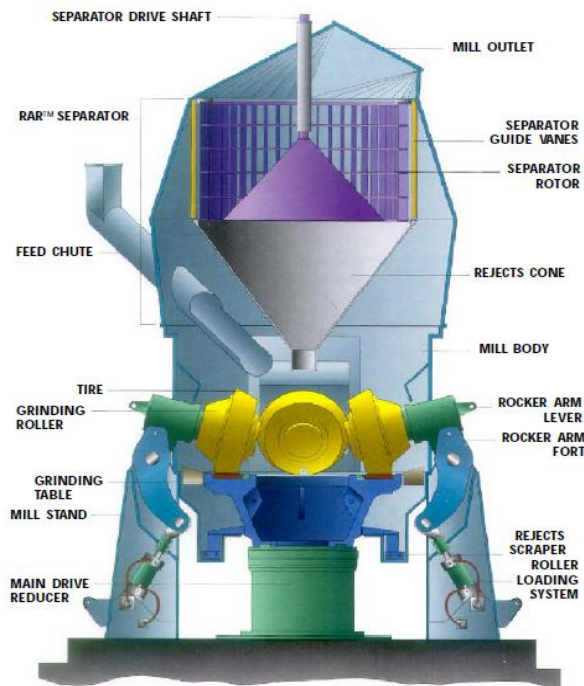
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Vertical Roller Mill

Vertical Roller Mill merupakan komponen paling umum sebagai unit penggilingan (*Grinding*) raw material yang banyak digunakan di perusahaan semen. *Vertical Roller Mill* sendiri mempunyai ukuran diameter meja 2 sampai 6 meter tergantung oleh ukuran *Vertical Roller Mill* itu sendiri. Produk akhir dari *Vertical Roller Mill* itu sendiri berukuran lebih kecil dari ukuran semula, yaitu sekitar 90 mikron. (Jensen, 2011). Pada Gambar 2.1, dapat dilihat komponen utama dari *vertical roller mill*, dan pada Gambar 2.2, dapat dilihat komponen keseluruhan dari *vertical roller mill*.



Gambar 2.1 Komponen utama *Vertical Roller Mill* (Jensen, 2011)



Gambar 2.2 Komponen *Fuller Vertical Roller Mill* (Fuller Roller Mill)

Adanya gaya sentrifugal, *Vertical Roller Mill* beroperasi normal pada 20-40 RPM tergantung dari ukuran *Vertical Roller Mill* itu sendiri dan memiliki kecepatan tangensial maksimum sebesar 7 m/s. (Jensen, 2011)

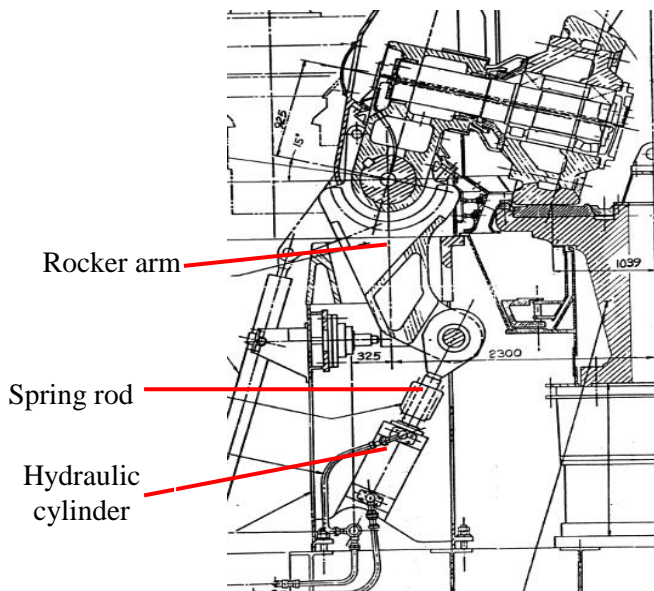
Penggilingan material sendiri memiliki peranan penting dalam proses penghasiian energi, pertambangan dan produksi semen. Efisiensi dan kualitas dalam proses penggilingan memiliki dampak langsung pada produk hasil penggilingan. Dalam beberapa tahun ini, *Vertical Roller Mill* sangat banyak digunakan di dunia ini. *Vertical Roller Mill* sendiri memiliki banyak keunggulan seperti efisiensi pengeringan yang tinggi,

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

noise yang rendah dan memiliki ukuran masukan yang besar, aus yang rendah dan konsumsi energi yang rendah. (Wang, 2012)

2.2 Pengertian Loading System

Loading system merupakan rangkaian komponen yang menopang tegangan dari kerja *vertical roller mill*. *Loading system* terdiri dari beberapa komponen besar yaitu *rocker arm*, *spring rod*, dan *hydraulic cylinder*. *Rocker arm* pada *vertical roller mill* terhubung ke silinder *hydraulic* melewati *spring rod*, *clamping nut*, dan *spherical bearing*. Silinder *hydraulic* ini ditekan oleh sistem *hydraulic-pneumatic loading* yang mengontrol gaya penggilingan. Rangkaian alat ini dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Rangkaian komponen *loading system* (Fuller Roller Mill)



Loading system menjaga gaya penggilingan agar stabil, yang juga membiarkan *roller* untuk mengikuti gerak dari meja penggilingan. Sistem ini terdiri dari silinder *hydraulic*, pompa, *accumulator*, katup, dan *control circuit*. Unit *hydraulic-pneumatic spring* ini memiliki gerak memompa yang dapat menjaga tekanan penggilingan dengan jarak yang spesifik.

Karena penggiling (*roller*) mengikuti ketinggian dari meja penggilingan, fluida *hydraulic* bertukar antara silinder *hydraulic* dan *accumulator*. Gas *accumulator* yang dimasukkan menyerap getaran dari sistem *hydraulic* agar membuat operasi penggilingan berjalan dengan halus. Sistem penggilingan didesain dengan volume *accumulator* yang cukup, sehingga tekanan penggilingan akan relatif konstan walaupun *roller* bergerak. Pengukuran yang tepat dan tekanan operasi dari *accumulator* menyebabkan *Fuller Roller Mill* beroperasi dengan getaran yang rendah, dan silinder dan *spring rod* memiliki umur yang lama. Posisi dari *roller* dimonitor saat beroperasi, dan apabila *roller* bergerak terlalu dekat dengan meja penggilingan, *roller loading system* akan mengangkat *roller* tersebut untuk menghindari kontak. (Fuller Roller Mill)

2.3 Baja

Baja pada dasarnya adalah paduan besi-karbon. Selain terdiri dari besi dan karbon baja biasanya juga mengandung sejumlah unsur lain, baja ini memiliki kadar karbon yang kurang dari 2%. Ada yang unurnya ditekan serendah mungkin ataupun justru malah ditambahkan agar memperoleh suatu sifat tertentu. Menurut komposisinya baja dibagi menjadi dua kelompok, yaitu baja karbon dan baja paduan. Baja karbon yang dapat didefinisikan sebagai baja yang hanya mengandung sejumlah kecil unsur dari elemen selain dari karbon. Sedangkan baja paduan adalah paduan dari besi dengan tambahan unsur lain seperti karbon, Mg, Silicon, Nikel, Krom, Molybdenum, dan Vanadium untuk mencapai suatu sifat yang diinginkan. Baja paduan memiliki lingkup yang luas seperti *low-alloy steels*,

BAB II TINJAUAN PUSTAKA



stainless steels, *heat-resistant steels*, dan baja perkakas. Beberapa baja paduan seperti *austenitic stainless steels* tidak mengandung penambahan karbon yang disengaja. Silicon ketika diperlukan ditambahkan sebagai *deoxidizer* pada *molten steel*. Nikel memberikan kekuatan dan bantuan pada pengerasan baja melalui *quenching* dan *tempering* dalam perlakuan panas. (Wiley, 2006)

2.4 Baja Paduan AISI 4140

Baja paduan ditunjukkan oleh empat digit angka dari AISI. Baja paduan ini meliputi beberapa komposisi dari B, C, Mn, Mo, Ni, Si, Cr, and Va untuk baja karbon.

Baja paduan AISI 4140 merupakan kromium, molibdenum, mangan yang mengandung baja paduan rendah. Baja paduan AISI 4140 ini memiliki kekuatan leleh yang tinggi, daya tahan abrasi dan dampak yang tinggi, ketangguhan yang tinggi, dan kekuatan torsi yang tinggi. Pada Tabel 2.1 di bawah ini, ditunjukkan komposisi kimia dari baja paduan AISI 4140.

Tabel 2.1 Komposisi Kimia Baja Paduan AISI 4140

Element	Content (%)
Chromium, Cr	0,80 – 1.10
Manganese, Mn	0.75 – 1.0
Carbon, C	0.380 – 0.430
Silicon, Si	0.15 – 0.30
Molybdenum, Mo	0.15 – 0.25
Sulfur, S	0.040
Phosphorous, P	0.035

Baja paduan AISI 4140 ini memiliki sifat fisik yaitu memiliki massa jenis 7.85 g/cm^3 atau 0.284 lb/in^3 , dan memiliki titik leleh yaitu 1416°C atau 2580°F . Sedangkan untuk sifat mekanik dari baja paduan AISI 4140 dapat dilihat pada Tabel 2.2 di bawah ini.



Tabel 2.2 Sifat Mekanik dari Baja Paduan AISI 4140

Properties	Metric	Imperial
Tensile strength	655 MPa	95000 psi
Yield strength	415 Mpa	60200 psi
Bulk modululus (typical for steel)	140 Gpa	20300 ksi
Shear modulus (typical for steel)	80 Gpa	11600 ksi
Elastic modulus	190 – 210 GPa	27557 – 30458 ksi
Poisson's ratio	0.27 – 0.30	0.27 – 0.30
Elongation at break (in 50 mm)	25.70%	25.70%
Hardness, Brinell	197	197
Hardness, Knoop (converted from Brinell hardness)	219	219
Hardness, Rockwell B (converted from Brinell hardness)	92	92
Hardness, Rockwell C (converted from Brinell hardness. Value below normal HRC range, for comparison purposes only)	13	13
Hardness, Vickers (converted from Brinell Hardness)	207	207
Machinability (based on AISI 1212 as 100 machinability)	65	65

Baja paduan AISI 4140 ini memiliki banyak aplikasi yang digunakan di hampir semua sektor industri, seperti: komponen dan part mesin, batang penyambung (*connecting rod*), batang pengeboran, batang mesin *hydraulic*, batang piston, baut, ulir, dan lain - lain. (Azom, 2012)

BAB II TINJAUAN PUSTAKA



2.5 Diagram Fase Fe-Fe₃C

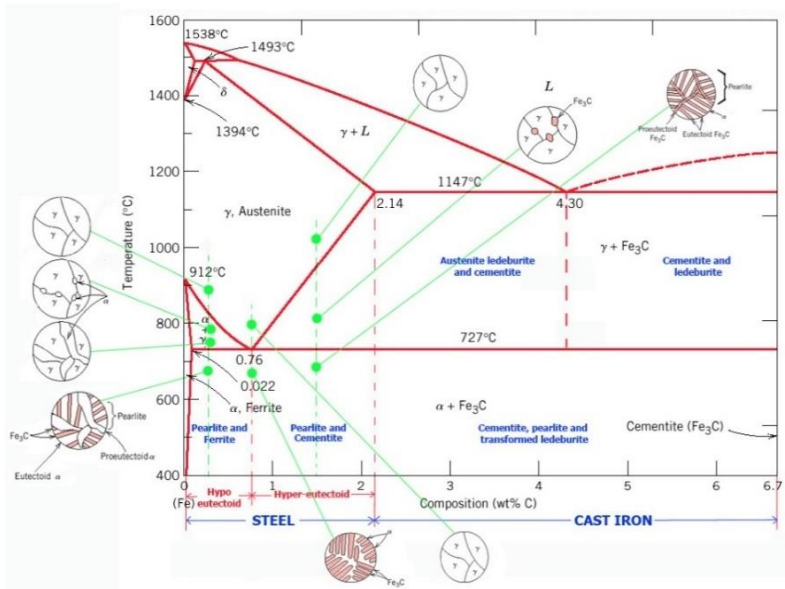
Dalam besi cair karbon dapat larut, tetapi dalam keadaan padat kelarutan karbon dalam besi akan terbatas. Selain sebagai larutan padat, besi dan karbon juga dapat membentuk senyawa *interstisial* (*interstitial compound*), eutektik dan juga eutektoid, atau mungkin juga karbon akan terpisah (sebagai grafit). Karena itu diagram fase besi-karbon ada 2 macam, diagram fase besi – karbida besi dan diagram fase besi – grafit.

Diagram keseimbangan besi – karbon cukup kompleks, tetapi hanya sebagian saja yang penting bagi dunia teknik, yaitu bagian antara besi murni sampai senyawa *interstitialnya*, karbida besi Fe₃C, yang mengandung 6,67 %C. dan diagram fase yang banyak digunakan adalah diagram fase besi – karbida besi, diagram Fe – Fe₃C.

Pada keadaan yang betul – betul ekuilibrium karbon akan berupa karbon bebas (grafit), sehingga akan diperoleh diagram kesetimbangan besi - grafit. Perubahan – perubahan dalam keadaan ekuilibrium berlangsung terlalu lama. Seharusnya karbida besi akan terjadi pada temperatur kamar (pada temperatur sekitar 700°C pun perubahan ini akan makan waktu bertahun – tahun). Dalam hal ini karbida besi dikatakan sebagai suatu struktur yang metastabil. Diagram fase besi – karbida dapat dilihat pada Gambar 2.3. (Avner, 1974)

Dari Gambar 2.4 tampak bahwa diagram fase ini memiliki tiga garis mendatar yang menandakan adanya reaksi yang berlangsung secara *isothermal*, yaitu :

- Pada 1496°C, kadar karbon antara 0.10 – 0.50 %, berlangsung reaksi peritektik. $L + \delta \rightarrow \gamma$ (daerah ini tidak begitu penting untuk dunia teknik)
- Pada 1130°C, kadar karbon antara 2,0 – 6,67 %, berlangsung reaksi eutektik. $L \rightarrow \gamma + \text{Fe}_3\text{C}$
- Pada 723°C, kadar karbon antara 0.025 – 6.67 %, berlangsung reaksi eutektoid. $\Gamma \rightarrow \alpha + \text{Fe}_3\text{C}$



Gambar 2.4 Diagram fase Fe - Fe₃C (Avner, 1974)

2.6 Analisa Kegagalan

Analisa kegagalan dapat diartikan sebagai pemeriksaan/pengujian terhadap komponen - komponen atau struktur yang mengalami kerusakan beserta kondisi yang menyebabkan kegagalan dengan tujuan untuk mengetahui penyebab dari kegagalan tersebut. Jadi tujuan utama dari analisa kegagalan adalah untuk mengetahui mekanisme terjadinya kegagalan serta memberikan solusi-solusi yang dapat dilaksanakan untuk menanggulangi masalah kegagalan tersebut.

Dengan kata lain, analisa kegagalan berujung pada observasi pada komponen-komponen yang rusak. Pengamatan pola patahan yang rusak adalah kunci bagi seluruh proses analisa kegagalan, oleh sebab itu pengamatan secara makrokopis dan mikrokopis harus dilaksanakan secara bertahap. Selain itu pengujian mekanik juga diperlukan karena secara umum kegagalan disebabkan oleh gaya-gaya yang bekerja dari lingkungan kerja komponen.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA



Menurut sumber-sumber penelitian yang ada di dunia industri (Brooks,2002). Faktor penyebab kegagalan yang sering terjadi di dunia industri dapat dikarenakan :

1. Faktor kesalahan pemilihan material

Hasil penelitian mengenai faktor kegagalan material yang dominan yaitu faktor kesalahan dalam memilih material. Tabel 2.3 dibawah ini menunjukkan statistik tentang permasalahan dalam kasus kegagalan material.

Tabel 2.3 Permasalahan dalam kegagalan komponen mesin

Permasalahan	%
Kesalahan pemilihan material	38
Cacat produksi	15
Kesalahan perlakuan panas	15
Kesalahan desain mekanik	11
Kondisi operasi yang berlebihan	8
Kondisi lingkungan yang tidak terkontrol	6
Pemeriksaan yang kurang baik	5
Material yang tidak jelas	2

2. Perawatan komponen yang kurang baik

Proses perawatan komponen mesin yang kurang baik termasuk salah satu penyebab kegagalan yang paling dominan. Tabel 2.4 menunjukan data mengenai kasus kegagalan material yang terjadi.

Tabel 2.4 Kasus kegagalan material akibat perawatan komponen mesin

Permasalahan	%
Perawatan yang kurang baik	44
Cacat saat fabrikasi	17
Defisiensi desain	16
Pemakaian yang abnormal	10
Cacat material	7
Penyebab yang tidak jelas	6

BAB II TINJAUAN PUSTAKA



3. Kesalahan dalam perancangan komponen

Faktor kesalahan dalam proses perancangan komponen mesin adalah sebagai berikut:

1. Kegagalan ulet akibat pembebanan yang melebihi kekuatan material.
2. Kegagalan getas akibat beban kejut.
3. Kegagalan pada temperature tinggi (pemuluran).
4. *Static delayed fracture*.
5. Proses perancangan yang terlalu banyak memicu konsentrasi tegangan seperti takikan.
6. Analisa tegangan komponen yang kurang detail yang menyebabkan rawan terjadi kegagalan akibat *overload*.
7. Kesalahan dalam menentukan material dari komponen mesin sehingga mempengaruhi hitungan yang dilakukan.

4. Kondisi kerja yang ekstrim

Permasalahan yang spesifik dalam kegagalan komponen mesin akibat kondisi kerja yang ekstrim disajikan dalam Tabel 2.5.

Tabel 2.5 Penyebab kegagalan dalam komponen mesin

Penyebab Kegagalan	%
Korosi	29
Kelelahan (<i>fatigue</i>)	25
Kegagalan getas (<i>brittle fracture</i>)	16
Kelebihan beban	11
Korosi temperature tinggi	7
Korosi retak tegang, korosi lelah, penggetasan hydrogen	6
Pemuluran (<i>creep</i>)	3
Abrasi, Erosi	3



2.7 Prosedur dalam Analisa Kegagalan

Ketika terjadi sebuah kegagalan atau retak, perlu dilakukan suatu tindakan untuk mencegah terjadinya kegagalan yang sama dengan menginvestigasi dan menganalisa kegagalan komponen yang terjadi. Adapun tindakan yang perlu dilakukan dalam menginvestigasi komponen yaitu (Nishida, 1992):

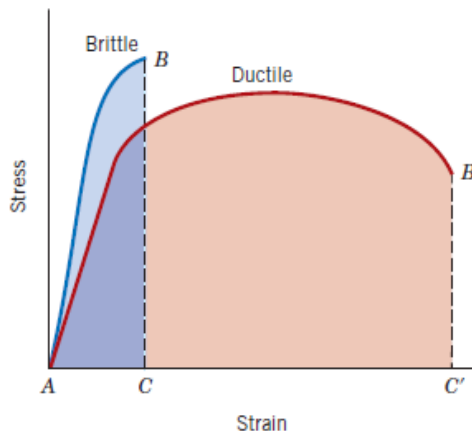
1. Material yang digunakan
 - a. Data produksi : *melting, rolling, forming, casting, heat treatment*, dan proses *machining*.
 - b. Analisa kimia : pengujian X-Ray, komposisi kimia.
 - c. Sifat mekanik : *tensile, bending, hardness, impact*, dan *fatigue test*.
 - d. Struktur metalurgi : struktur makro dan mikro struktur.
 - e. Pengerasan permukaan dan tegangan sisa ; *finishing*.
 - f. Patah permukaan.
2. Desain tegangan dan kondisi perawatan
 - a. Kekuatan dari luar : golongan, besar, pengulangan
 - b. Atmosfer : udara, air, air laut, dan sebagainya
 - c. Yang lain : kondisi perbaikan
3. Uji percobaan
 - a. Uji laboratorium : perhitungan tegangan (kekuatan material, *finite element method* (FEM), kekuatan lelah, kekerasan patahan.
 - b. Konfirmasi uji lapangan : ukuran tegangan, uji produksi.
4. Hasil uji seluruhnya.

2.8 Patah Getas dan Patah Ulet

Patahan adalah spesimen dari sebuah benda menjadi 2 atau lebih potongan karena terjadinya tegangan statik dan pada temperature yang relatif rendah terhadap titik leleh dari suatu



material. Tegangan yang terjadi pada material bisa merupakan tegangan tarik, tegangan kompresi, tegangan geser ataupun torsi. Dalam rekayasa material terdapat dua jenis mode patahan yang mungkin terjadi yaitu patahan ulet dan patah getas. Klasifikasi jenis patahan ini berdasarkan kemampuan sebuah material dalam menerima deformasi plastis yang dapat menyerap energi yang besar sebelum terjadi patahan. Material yang ulet mempunyai deformasi plastis yang tinggi, pembentukan small cavity diujung retak, serta retak memanjang atau menjalar bertahap. Sedangkan pada material yang getas mempunyai deformasi plastis rendah, tegangan lokal meningkat pada ujung retak sehingga retak menjalar dengan sangat cepat. Pada Gambar 2.5 ditunjukkan diagram tegangan dan regangan dari patahan ulet dan getas.



Gambar 2.5 Skematik ciri patah getas dan patah ulet dari diagram tegangan-regangan (Callister,2007)

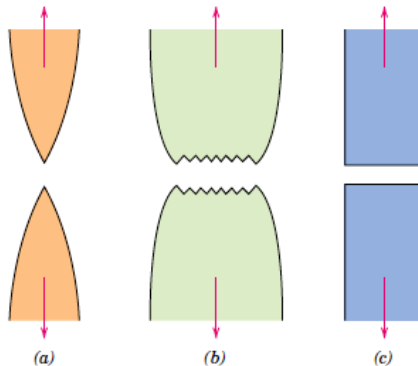
Patahan ulet dan getas pada suatu material tergantung pada kondisi pembebanan. Pada proses terjadinya patahan melibatkan dua tahap yaitu terbentuknya retak dan perambatan sebagai respon dari tegangan yang dialami oleh material. Modus patahan sangat bergantung pada perambatan retak.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

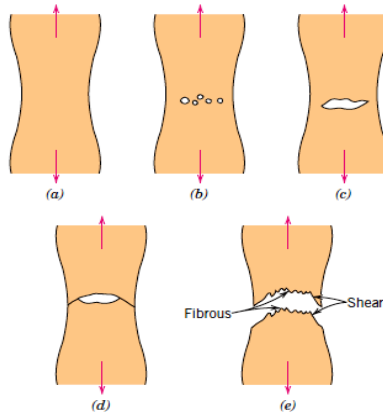
2.8.1 Patah Ulet

Bentuk patahan ulet memiliki karakteristik yang berbeda jika diamati secara makroskopis. Pada Gambar 2.6 ditunjukkan skematik representative dari dua karakteristik profil patahan secara makro. Konfigurasi yang ditunjukkan oleh Gambar 2.6 (a) ditemukan pada material lunak seperti emas pada temperature ruang dan metal, polimer dan inorganik gelas pada temperature yang relatif tinggi.

Secara umum profil patahan material ulet akibat tegangan tarik ditunjukkan pada Gambar 2.6 (b) dimana patahan didahului oleh adanya *necking*. Proses patahan ulet dari material terjadi dalam beberapa tahap. Pertama, setelah terjadi pengecilan luasan setempat (*necking*) *cavities* kecil atau *microvoid* terbentuk di dalam struktur material seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2.7.



Gambar 2.6 (a) bentuk patahan ulet, (b) bentuk patahan ulet setelah terjadi *necking*, (c) bentuk patahan getas tanpa terjadi deformasi plastis (Callister,2007)



Gambar 2.7 Tahap patahan cup dan cone (a) awal *necking*, (b) terbentuknya cavity kecil, (c) pengumpulan *cavity* hingga menjadi retakan, (d) perambatan retak, (e) patahan geser dengan sudut 45° terhadap arah tegangan (Callister, 2007)

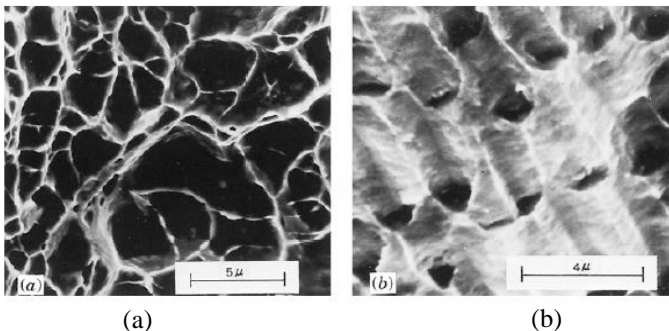
Kemudian dengan bertambahnya deformasi akibat tegangan maka *microvoid* membesar dan berkumpul menjadi satu yang kemudian *coalesce* membentuk retak secara elips yang memiliki panjang tegak lurus dari arah pembebanan. Retak kemudian tumbuh sejajar dengan arah pembebanan, akhirnya patahan terbentuk oleh perambatan retak yang cepat disekitar area *necking* seperti Gambar 2.7 (e) oleh deformasi geser pada sudut disekitar arah tegangan tarik dimana sudut ini merupakan tegangan geser tertinggi. Terkadang sebuah patahan mempunyai karakteristik kontur seperti *cup* dan *cone* karena salah satu permukaan patahan menyerupai *cone*. Spesimen yang mempunyai bentuk patahan seperti ini berbentuk fibrous yang tidak teratur dimana hal ini menandakan deformasi plastis. Lebih jauh lagi untuk mengetahui informasi mengenai penentuan secara pengujian dengan menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM). Studi mengenai tipe patahan disebut *fractographic*. *Scanning Electron Microscope* (SEM) lebih banyak digunakan dalam mengamati bentuk crack, patahan karena mempunyai resolusi dan kedalaman

observasi yang lebih tinggi dari mikroskopik optik. Gambar 2.8 menunjukkan patah ulet *cup* dan *cone* dan perbedaan patah getas pada *mild steel*.



Gambar 2.8 (a) patah ulet (*cup and cone*) pada aluminium, dan
(b) patah getas pada *mild steel* (Callister,2007)

Pada skala makro, patah ulet ditunjukkan dengan adanya perubahan ketinggian yang nyata sepanjang penampang potongan melintang dari benda, biasa dikenal dengan istilah *shear lips*. Kemudian pada skala mikro, patah ulet ditandai dengan adanya profil *dimple* pada permukaan patahnya yang disebabkan oleh penjaralan retakan mikro (*microvoids coalescence*) pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9 (a) SEM yang menunjukkan *spherical dimple* karakteristik, patahan hasil beban tarik *uniaxial*, 3300×, dan (b)

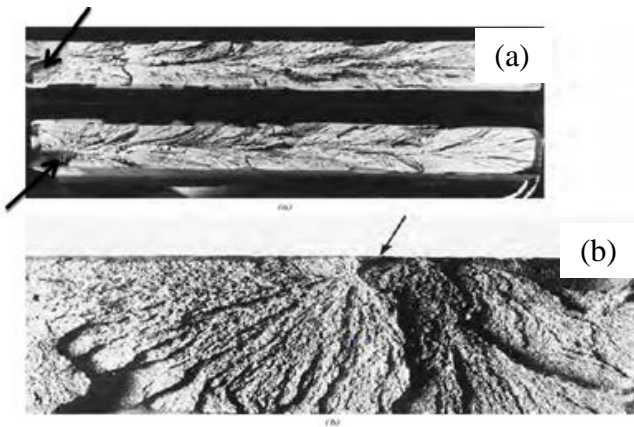
BAB II TINJAUAN PUSTAKA



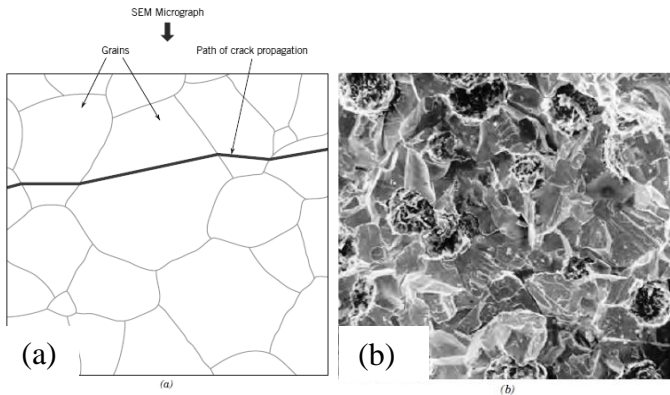
SEM yang menunjukkan *spherical dimple* karakteristik hasil beban geser, 5000x (Callister,2007)

2.8.2 Patah Getas

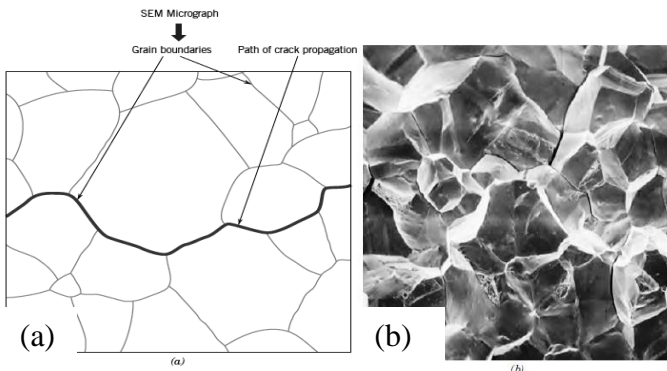
Patah getas sering terjadi tanpa adanya atau sedikit sekali terjadi deformasi plastis pada material. Retak/ patahan merambat sepanjang bidang-bidang kristalin yang membelah atom-atom material (*transgranular*). Kemudian pada material lunak dengan butir kasar (*coarse grain*) maka dapat dilihat pola-pola yang dinamakan *chevron* seperti Gambar 2.9 (a) atau patah getas permukaan terlihat garis atau daerah asal retakan disebut *fan pattern* seperti pada Gambar 2.9 (b). Untuk hasil perambatan dan SEM, dapat terlihat jelas untuk retak yang melewati batas butir (*transgranular*) dan retak yang terjadi sepanjang batas butir (*intergranular*) pada gambar 2.10 dan 2.11.



Gambar 2.10 (a) Foto yang menunjukkan bentuk V “chevron” sebagai karakteristik patah getas dan (b) Foto yang menunjukkan permukaan patah getas daerah asal retakan (Callister,2007)



Gambar 2.11 (a) skema perambatan retak yang melewati butir (*transgranular*) (b) hasil SEM dari patah secara *transgranular* (Callister,2007)



Gambar 2.12 (a) skema perambatan retak yang terjadi sepanjang batas butir (*intergranular*) (b) hasil SEM dari patah secara *intergranular* (Callister,2007)

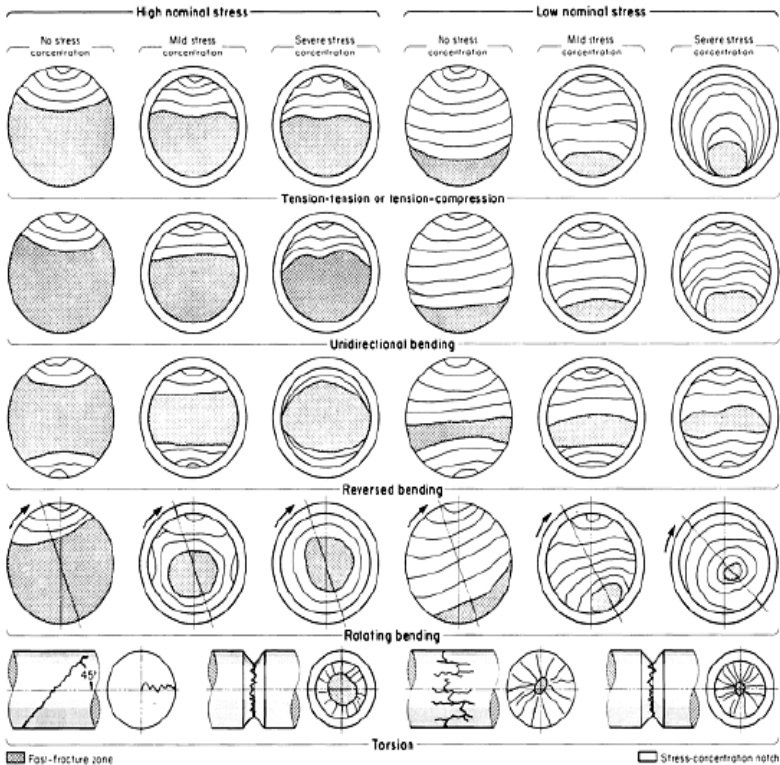
2.9 Mekanisme Pembentukan Patah Lelah

Kelelahan mengakibatkan terjadinya patah lelah. Patah lelah terjadi melalui tiga tahap yaitu tahap retak awal (*crack initiation*), tahap penjaralan retak (*crack propagation*), dan tahap patah statis.



Dan setelah retak lelah merambat cukup jauh, maka beban yang bekerja hanya akan didukung oleh penampang tersisa yang belum retak dan akhirnya komponen akan patah (tahap *final failure*).

Pada Gambar 2.13 dibawah ini menunjukkan secara skematis penampilan permukaan patahan dari kegagalan lelah pada berbagai kondisi pembebanan.



Gambar 2.13 Skematis permukaan lelah pada penampang bulat (Akuan, 2007)

Karakteristik kelelahan logam dapat dibedakan menjadi 2 yaitu karakteristik makro dan karakteristik mikro. Karakteristik makro merupakan ciri-ciri kelelahan yang dapat diamati secara

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

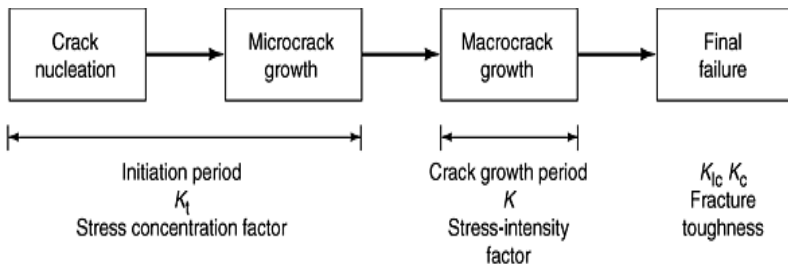


visual (dengan mata telanjang atau dengan kaca pembesar). Sedangkan karakteristik mikro hanya dapat diamati dengan menggunakan mikroskop. (Akuan, 2007)

Menurut Schijve, terdapat 5 fase yang selama proses *fatigue*, yaitu : (ASM Handbook Committee Volume 19, 2002):

1. *Cyclic slip*
2. *Crack nucleation*
3. *Growth of microcrack*
4. *Growth of macrocrack*
5. *Final failure*

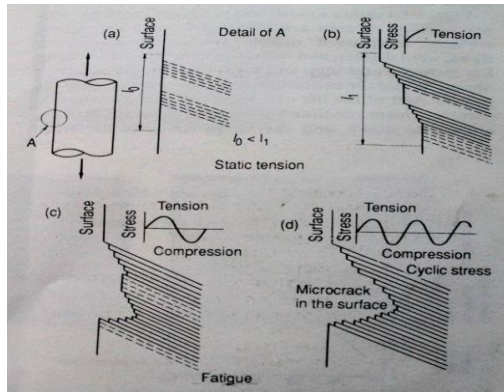
Fase – fase tersebut ditunjukkan pada Gambar 2.14 di bawah ini



Gambar 2.14 Mekanisme patah lelah dan faktornya (ASM Handbook Vol.19 *Fatigue and Fracture*,2002)

2.9.1 Tahap Retak Awal (*Crack Initiation*)

Awal retak biasanya dimulai dari permukaan. Hal ini terjadi karena permukaan menerima beban terbesar dan paling memungkinkan terjadinya konsentrasi tegangan yang disebabkan oleh adanya perubahan dimensi pada permukaan atau proses pengerjaan tertentu pada material. Adanya cacat dalam menyebabkan juga konsentrasi tegangan. Fenomena awal retak secara sederhana diberikan oleh Wood. Beberapa model diberikan dalam menjelaskan *fatigue crack* pada Gambar 2.15.



Gambar 2.15 Model Wood untuk pengintian retak (Nishida, Shin-ichi, 1992)

Pada beban tarik pertama, slip terjadi dengan membentuk permukaan bertingkat yang membentuk sudut 45° dengan sumbu tegangan. Hal ini akibat tegangan geser maksimal yang terjadi pada sudut tersebut. Pembebanan selanjutnya menyebabkan slip pada arah yang berlawanan. Slip ini terjadi pada bidang yang berdekatan dengan yang pertama. Dan selanjutnya merupakan proses pengulangan dalam pembebanan siklus yang sama. Tahap retak awal ini meliputi fase *cyclic slip*, fase pembentukan inti retak (*crack nucleation*) dan pertumbuhan retak mikro (*growth of microcrack*).

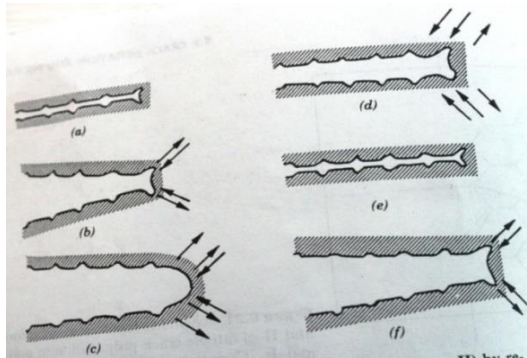
2.9.2 Tahap Perambatan Retak (*Crack Propagation*)

Perambatan retak pada suatu komponen terjadi jika tegangan maksimum pada ujung retakan berada di atas kekuatan material. Hal ini mengakibatkan peningkatan konsentrasi tegangan pada ujung retak. Awal retakan mula-mula menjalar pada bidang slip di dalam beberapa butir dengan kecepatan yang sangat lambat. Pengamatan secara makro tidak menampakkan perambatan ini. Peristiwa ini disebut perambatan retak tahap I.

Selanjutnya pertumbuhan retak pada tahap II ditandai dengan adanya striasi. Pada tahap ini pertumbuhan retak tegak lurus

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

dengan tegangan tarik maksimum. Retakan mulai kelihatan dengan mata telanjang, oleh karena itu disebut dengan retak makro. Pengamatan retak pada penelitian biasanya difokuskan pada tahap ini. Adapun model mekanisme crack secara plastis terdapat pada Gambar 2.16 dibawah ini.



Gambar 2.16 Mekanisme penumpulan ujung retakan secara plastis (a) beban nol (b) beban tarik kecil (c) beban tarik maksimum (d) beban - tekan kecil (e) beban tekan maksimum (f) beban tarik kecil (Callister,2007)

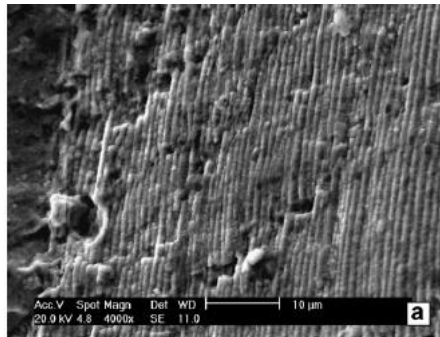
2.10 Karakteristik Patahan

Klasifikasi dasar dari proses patah bila ditinjau dari modulus dan penyebabnya adalah patah ulet, patah getas, patah lelah (*fatigue*), dan patah merangkak (*creep/monotonic*). Masing-masing dari jenis patahan diatas memiliki karakteristik tersendiri. Berikut adalah karakteristik dasar untuk membedakan jenis patah lelah dengan patah merangkak, jenis patah getas dengan patah ulet pada skala makro, dan jenis patah getas dengan patah ulet pada skala mikro (*ASM Handbook Committee Volume 12, 2002*):

- Perbedaan karakteristik antara patah lelah dengan patah merangkak



Beachmarks dan striasi mengindikasikan patah lelah, sedangkan pada patah merangkak parameter tersebut tidak terlihat. Pertanda kehadiran beach marks bisa diketahui melalui pengamatan makro menggunakan *stereomicroscope*, dan striasi hanya bisa diamati pada saat dilaksanakan *SEM fractography* (Gambar 2.17). Profil *beachmarks* dan striasi ini merupakan hasil dari fluktuasi beban yang diberikan pada benda.



Gambar 2.17 Foto SEM yang menunjukkan *Beachmarks* dan striasi secara mikro (Poursaedi, 2005)

- Perbedaan karakteristik antara patah getas dengan patah ulet pada skala makro

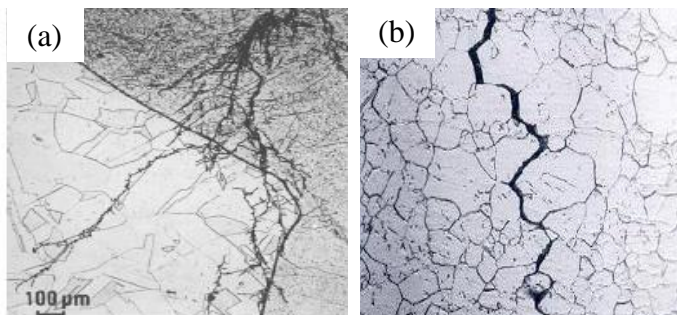
Pada skala makro, patah ulet ditunjukkan dengan adanya perubahan ketinggian yang nyata sepanjang penampang potongan melintang dari benda, biasa dikenal dengan istilah *shear lips*. Kemudian pola patah getas ditunjukkan dengan permukaan patahan yang datar dan tegak lurus terhadap arah beban, serta tanpa adanya petunjuk bahwa telah terjadi deformasi plastis sebelum benda mengalami patah. Selain kedua karakteristik diatas, terdapat pola patahan gabungan (*mix-mode appearance*) baik patah getas yang bertransformasi jadi ulet ataupun patah ulet yang bertransformasi menjadi getas. Kebanyakan kasus yang

terjadi adalah patah getas bertransformasi menjadi patah ulet. Contoh ciri patah ulet ditunjukkan pada Gambar 2.5.

- Perbedaan karakteristik antara patah getas dengan patah ulet pada skala mikro

Pada skala mikro, patah ulet ditandai dengan adanya profil *dimple* pada permukaan patahnya yang disebabkan oleh penjararan retakan mikro (*micro voids coalescence*). Sedangkan patah getas ditandai dengan salah satu dari fenomena berikut:

- a. Patahan melintasi butiran atau patah transgranular, dikenal dengan nama *cleavage*, ditunjukkan pada Gambar 2.17 (a)
- b. Patahan melewati batas butir atau patah intergranular, dikenal dengan nama *intergranular embrittlement*, ditunjukkan pada Gambar 2.17 (b)



Gambar 2.18 Retakan dengan pola rambatan (a) Transgranular (b) Intergranular (Colangelo, 1989)

2.11 Pengujian Kekerasan

Pada umumnya, kekerasan menyatakan ketahanan terhadap deformasi dan merupakan ukuran ketahanan logam terhadap deformasi plastik atau deformasi permanen (Dieter, 1987). Hal ini



sering diartikan sebagai ukuran kemudahan dan kuantitas khusus yang menunjukkan nilai kekerasan material.

Pada pengujian kekerasan terdapat tiga jenis ukuran kekerasan, hal ini tergantung pada cara melakukan pengujian, yaitu:

1. Kekerasan goresan (*scratch hardness*),
2. Kekerasan lekukan (*indentation hardness*),
3. Kekerasan pantulan (*rebound*)

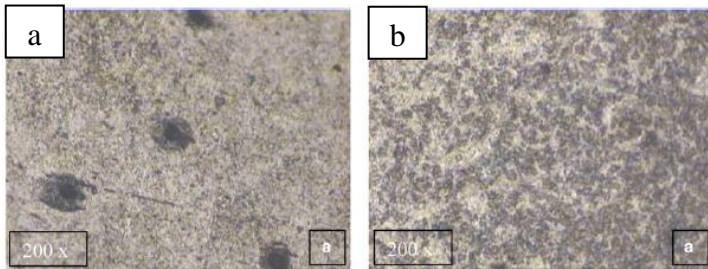
Pengujian yang sering dilakukan pada logam adalah pengujian kekerasan indentasi. Pada model ini kekerasan suatu material diukur terhadap tahanan plastis dari permukaan suatu material komponen konstruksi mesin dengan spesimen standart terhadap *indentor*. Terdapat berbagai macam uji kekerasan indentasi, antara lain: uji kekerasan *Brinell*, *Vickers*, *Rockwell* dan *Knoop*.

2.12 Penelitian Sebelumnya

2.12.1 Kegagalan pada *Crank Shaft* Silinder Tunggal pada Mesin Diesel

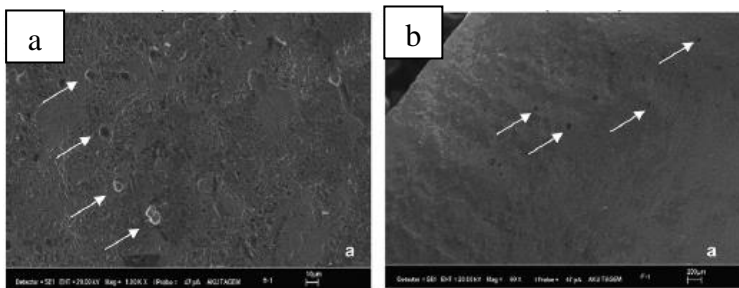
Analisa kimia dari dua *crank shaft* yang patah ini menggunakan *spectrometer*. Komposisi kimia dari *crank shaft* ini menunjukkan bahwa material yang digunakan adalah baja karbon *medium* tipe AISI 4140. Baja ini memiliki *hardenability* yang tinggi dan kelelahan yang baik, ketahanan abrasi dan dampak yang baik, dan dapat dibentuk dengan *cold* atau *hot forging*.

Mikrostruktur dari kedua *crankshaft* dapat dilihat pada Gambar 2.19. Perbedaan antara dua mikrostruktur tersebut memberikan indikasi salah satu *crankshaft* dilakukan perlakuan panas. Dapat dilihat bahwa *crank 2* memiliki lapisan permukaan yang dikeraskan sedangkan *crank 1* tidak. *Crank 2* memiliki struktur *tempered martensite* di dekat daerah permukaan.



Gambar 2.19 Mikrostruktur lapisan permukaan dengan perbesaran 200x pada (a) *crank* 1 (b) *crank* 2

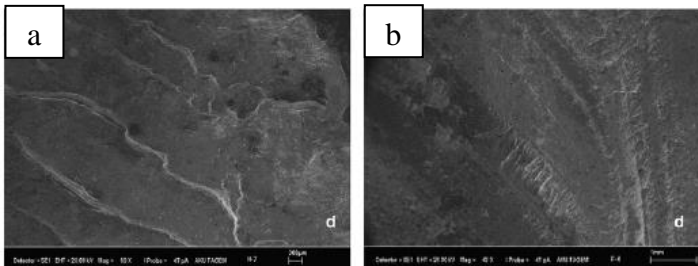
Fotografi SEM pada kedua permukaan patah *crankshaft* dapat dilihat pada Gambar 2.20. Daerah hitam pada Gambar 2.19 yang merupakan rongga dan gundukan dapat dilihat pada Gambar 2.20 yang diberi tanda anak panah. Lokasi ini dapat menginisiasi adanya retakan lelah.



Gambar 2.20 Mikrografik SEM pada permukaan yang patah pada (a) *crank* 1 (b) *crank* 2

Patahan yang terjadi akibat dari proses lelah dapat disimpulkan dari striasi *benchmark* pada permukaan patah yang diperlihatkan pada Gambar 2.20. Garis *benchmark* yang terdeformasi plastis pada Gambar 2.21 menunjukkan *crank* 1 yang tidak dikeraskan. (Bayrakceken, 2007)

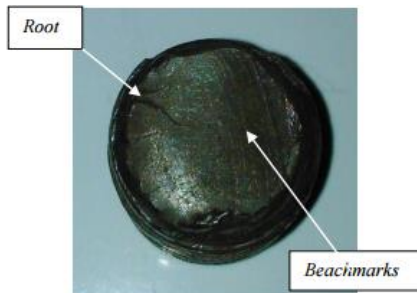
BAB II TINJAUAN PUSTAKA



Gambar 2.21 Mikrografik SEM yang menunjukkan adanya garis *benchmark* pada (a) *crank 1* (b) *crank 2*

2.12.2 Analisis Kegagalan Baut Pengikat Gearbox pada Lokomotif Kereta Rel Diesel Elektrik (KRDE)

Fatigue atau lelah adalah bentuk dari kegagalan yang terjadi pada struktur yang disebabkan karena beban dinamik yang berfluktuasi dibawah kekuatan luluhnya yang terjadi dalam waktu yang lama dan berulang-ulang. Retak fatigue biasanya bermula dari permukaan yang merupakan tempat beban berkonsentrasi. Fatigue menyerupai patah getas yaitu ditandai dengan deformasi plastis yang sangat sedikit. Proses terjadinya fatigue ditandai dengan retak awal, perambatan retak dan patah akhir. Beachmarks adalah fitur unik yang ditemukan dibanyak kasus kelelahan dan kehadiran mereka merupakan sarana positif untuk mengidentifikasi fraktur kelelahan. Beachmarks dapat dilihat pada Gambar 2.22.

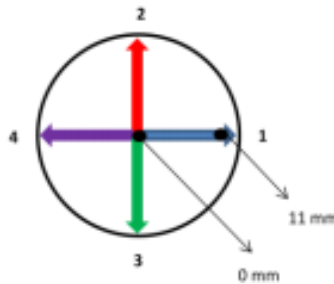


Gambar 2.22 Baja karbon-sedang dengan fraktur kelelahan di sebagian besar penampang sebelum pecah akhir

BAB II TINJAUAN PUSTAKA



Pengujian kekerasan menggunakan mesin Rockwel Hardness Tester type HR-150A dengan metode Rockwell skala C dengan penetrator yang digunakan intan kerucut dengan beban mayor 150kg. Uji kekerasan dilakukan pada spesimen pada posisi tertentu yang dapat dilihat pada Gambar 2.23 dan hasil uji kekerasan dapat dilihat pada Tabel 2.6.



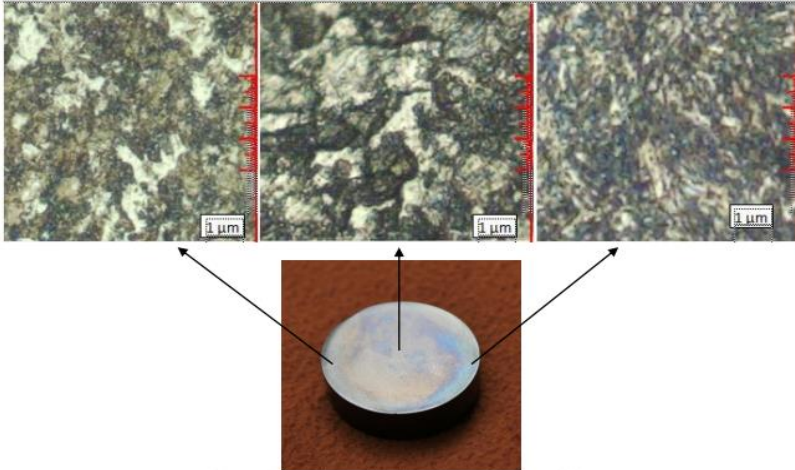
Gambar 2.23 Pembagian posisi pengujian kekerasan

Tabel 2.6 Hasil pengujian kekerasan

Jarak dari pusat diameter baut	nilai kekerasan					SAE J429
	posisi 1	posisi 2	posisi 3	posisi 4	rata-rata	
0 mm	23.5	23.5	23.5	23.5	23.5	Bagian dalam 25-34 HRC
3 mm	25	24	25.5	24	24.63	
6 mm	25.5	28	31	27	27.88	
9 mm	28	29	27.5	28	28.13	Bagian luar max 54 HRC
11 mm	29.5	30	26	30	28.88	

Untuk memperkuat data hasil pengujian kekerasan. Maka dilakukan pengujian metalografi yang bertujuan untuk melihat struktur mikro dari material baut. Pengujian dilakukan di Laboratorium Material Teknik Undip. Pengujian dilakukan menggunakan mikroskop optic dengan perbesaran 200x. Gambar hasil mikrofografi dapat dilihat pada Gambar 2.24 berikut. Pengujian strukturmikro menggunakan Nital etching.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA



Gambar 2.24 Struktur mikro baut dengan perbesaran 200x

Dari Gambar 2.24. menunjukkan proses quench and temper yang gagal sehingga fasa yang dihasilkan bukan martensit melainkan ferrite dan pearlite. Hal ini dibuktikan dari foto struktur mikro hasil pengujian laboratorium (Gambar 2.24.) berbeda dengan foto struktur mikro dari jurnal yang berfasa martensit. Serta uji kekerasan yang tidak sesuai dengan spesifikasi SAE J429 grade 5. (Aji, 2014)

2.12.3 Analisis Sifat Mekanik pada Material AISI 4140 dan Creusabro 8000 untuk Aplikasi Gigi Bucket Produksi PT. Polman Swadaya

Pada penelitian ini ada 7 variabel yang akan dianalisa berdasarkan proses perlakuan panas dari material AISI 4140 dan Creusabro 8000. Pemilihan parameter temperatur dan waktu penahanan ditentukan berdasarkan rekomendasi dari literatur dan kandungan carbon equivalent. Variabel pada penelitian ini meliputi :

BAB II TINJAUAN PUSTAKA



a. Material AISI 4140\

- Sampel awal material AISI 4140
- *Normalizing* di suhu 900°C – pendinginan media udara bebas
- *Normalizing* di suhu 900°C – pendinginan media hembusan udara
- *Normalizing* di suhu 900°C - *hardening quenching* media oli - tempering di suhu 480°C

b. Material Creusabro 8000

- Sampel awal Creusabro 8000
- *Normalizing* di suhu 920°C – pendinginan media udara bebas
- *Normalizing* di suhu 920°C

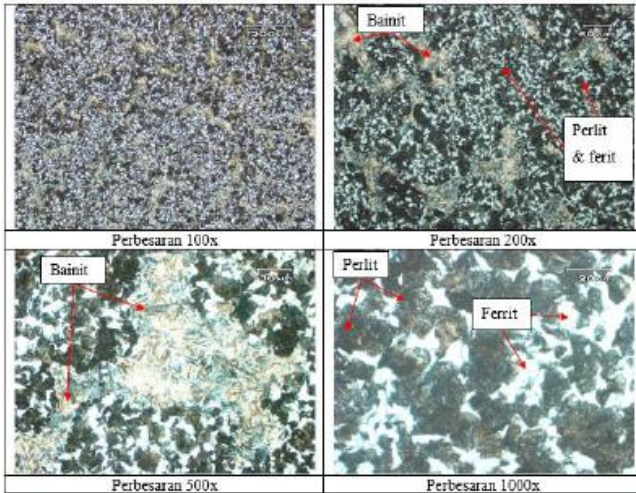
Untuk memudahkan pengujian, maka setiap variabel diberi kode penamaan berdasarkan proses perlakuan panasnya.

Tabel 2.7 Material dengan variasi perlakuan panas

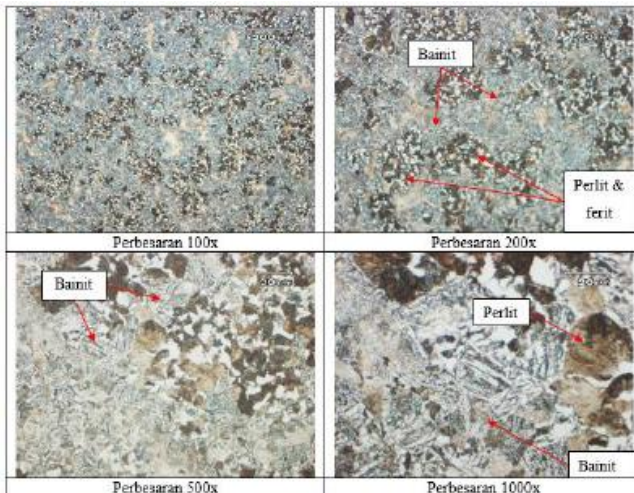
No	Kode sampel	Variasi perlakuan panas
AISI 4140		
1	A	Sampel awal
2	B	<i>Normalizing</i> – pendinginan udara bebas
3	C	<i>Normalizing</i> - pendinginan media hembusan udara
4	D	<i>Normalizing – hardening quenching</i> media oli - tempering
CREUSABRO 8000		
1	E	Sampel awal
2	F	<i>Normalizing</i> – pendinginan udara bebas
3	G	<i>Normalizing</i> - pendinginan media hembusan udara



Pengujian struktur mikro dengan mesin mikroskop optik merek Olympus GX 71. Bahan etsa yang digunakan adalah nital 3%. (Fauzi, 2014)

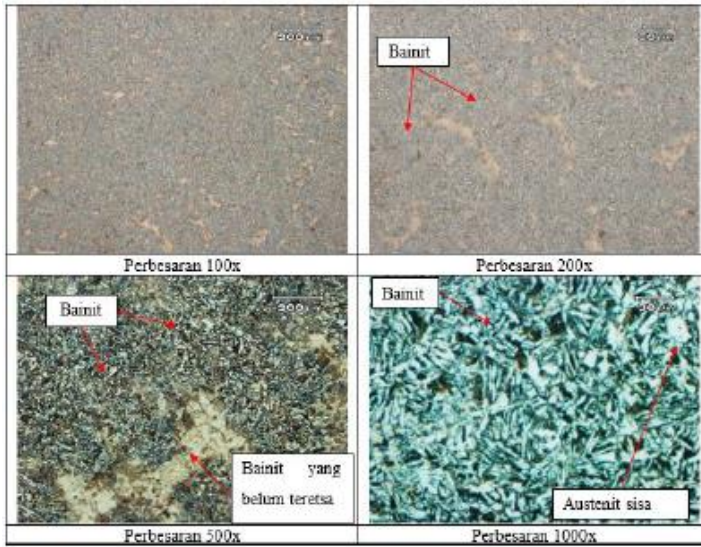


Gambar 2.25 Hasil pengujian mikrostruktur pada sampel A

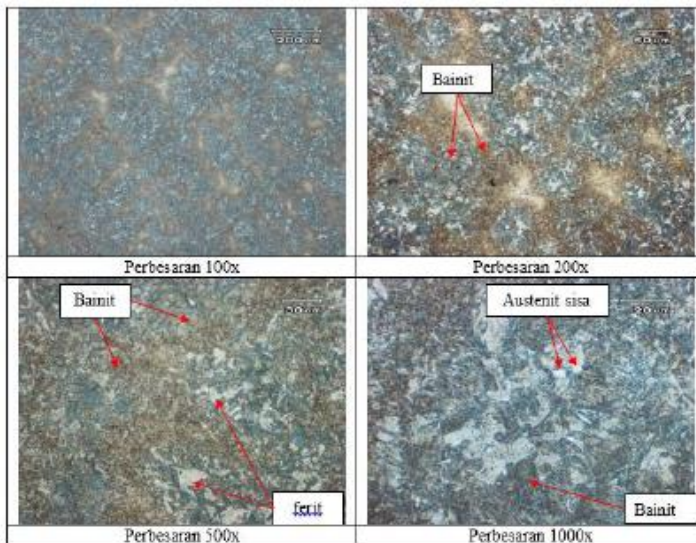


Gambar 2.26 Hasil pengujian mikrostruktur pada sampel B

BAB II TINJAUAN PUSTAKA



Gambar 2.27 Hasil pengujian mikrostruktur pada sampel C



Gambar 2.28 Hasil pengujian mikrostruktur pada sampel D

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

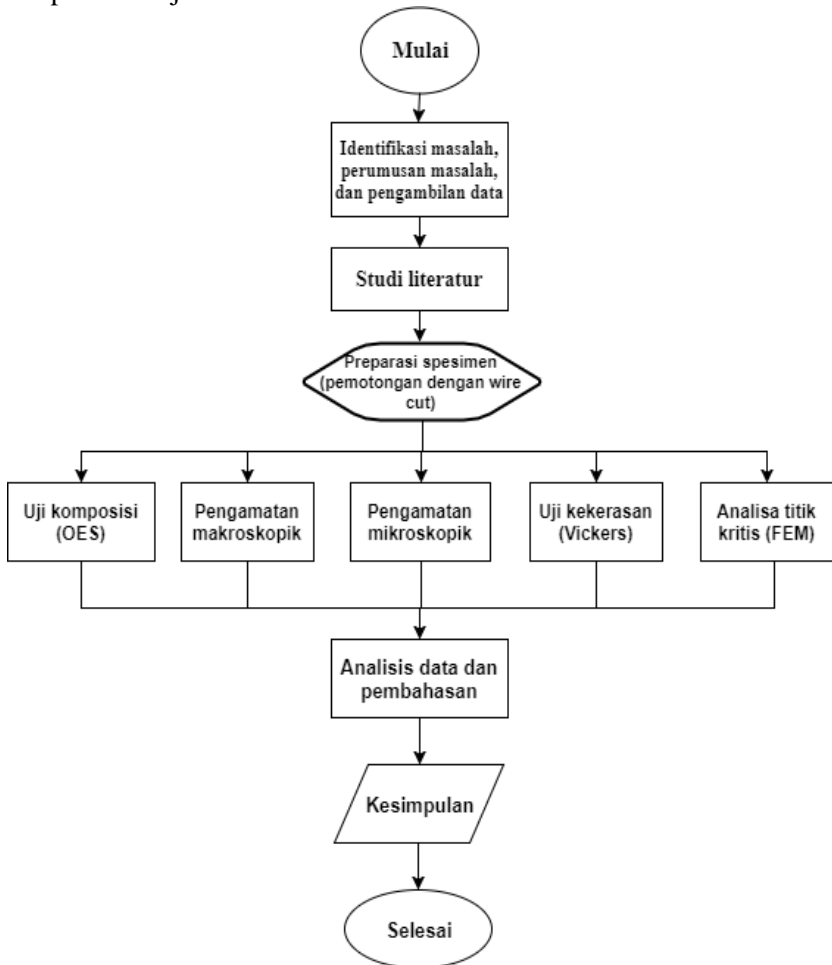


(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Diagram Alir Penelitian

Pelaksanaan penelitian ini dilakukan beberapa pengujian seperti ditunjukkan dalam Gambar 3.1 dibawah ini



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian



3.2 Metode Penelitian

Metode Penelitian yang digunakan dalam penelitian kali ini antara lain studi lapangan, pengujian dan studi literature. Adapun hal-hal yang mencakup penelitian antara lain:

1. Studi lapangan

Metode ini mengacu pada pencarian informasi tentang komponen yang akan diteliti beserta informasi tentang kegagalan yang terjadi pada komponennya dengan cara terjun langsung ke lapangan yaitu PT. Semen Indonesia, dan berdiskusi dengan dosen mata kuliah, dosen pembimbing, dan pihak PT. Semen Indonesia yang ahli dibidangnya.

2. Studi Literatur

Metode studi literatur mengacu pada buku-buku, jurnal-jurnal penelitian, dan situs industri yang mempelajari tentang permasalahan analisa kegagalan pada *spring rod*.

3. Pengujian

Metode ini dilakukan dengan pengujian langsung sesuai dengan prosedur dan metode yang ada. Adapun pengujian yang diperlukan dalam eksperimen ini yaitu : pengamatan bentuk *crack* dengan makroskopik dan *stereomicroscope*, pengamatan mikroskopik dengan mikroskop optik , uji komposisi dengan menggunakan spektrometer, uji kekerasan untuk mengetahui nilai kekerasan pada material *spring rod*, dan analisa titik kritis (FEM) menggunakan Ansys 17.2.

3.3 Material yang digunakan

3.3.1. Material

Pada bulan Januari 2017 ditemukan *spring rod* pada *Coal Mill* Pabrik Tuban 1 mengalami patahan yang diperlihatkan pada Gambar 3.2.



Gambar 3. 1 Komponen *spring rod* yang patah

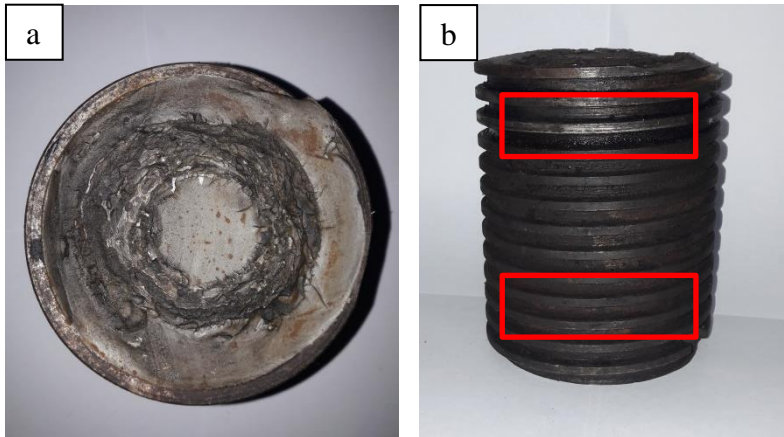
Material yang digunakan oleh PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk merupakan material *spring rod* yang memiliki komposisi kimia seperti yang ditunjukkan oleh Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Komposisi Kimia *Spring Rod*

Unsur	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Al	Cu
%	0.342	0,302	0.8	0.0111	0.0182	0.97	0,19	0,206	0.0258	0.189

3.3.2. Spesimen

Spesimen yang digunakan dalam penelitian ini yaitu potongan komponen *spring rod* pada bagian yang patah pada Gambar 3.3 (a) dan daerah untuk pengujian kekerasan pada bagian yang dekat dan jauh dari patahan, yang dapat dilihat pada gambar 3.3 (b).



Gambar 3.3 (a) Potongan komponen *spring rod* pada bagian yang patah dan (b) daerah untuk pengujian kekerasan pada bagian yang dekat dan jauh dari patahan

3.4 Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

1. Penggaris
Digunakan untuk mengukur spesimen.
2. Mesin *Wire Cut*
Digunakan untuk memotong spesimen.
3. Kamera Digital
Digunakan untuk mendapatkan informasi kegagalan secara makro dan dokumentasi selama penelitian.
4. Mesin OES (*Optical Emission Spectroscopy*)
Digunakan untuk mengetahui komposisi material uji. Mesin yang digunakan adalah mesin OES *Foundry Master Pro*.
5. Uji Kekerasan
Digunakan untuk mengetahui nilai kekerasan dari material uji. Mesin uji kekerasan ditunjukkan pada Gambar 3.4.



Gambar 3. 4 Universal Hardness Tester

6. Amplas SiC grade 80 hingga 2000
Digunakan untuk preparasi pengujian mikroskop optik. Amplas yang digunakan adalah amplas jenis SiC dengan grade 80 hingga 2000.
7. Mesin Polish
Digunakan untuk preparasi pengujian mikroskop optik.
8. Larutan Etsa
Digunakan untuk preparasi pengujian metalografi.
9. Mikroskop Optik
Digunakan untuk mendapatkan informasi struktur mikro/fasa yang terdapat pada material uji. Mikroskop optik *Olympus BX51M-RF* ditunjukkan pada Gambar 3.5.



Gambar 3. 5 Mikroskop Optik *Olympus BX51M-RF*



10. *Stereomicroscope*

Digunakan untuk mendapatkan informasi kegagalan secara topografi permukaan. Tipe mesin *stereomicroscope* yang digunakan adalah *Carl Zeiss Stemi DV4* ditunjukkan pada Gambar 3.6.



Gambar 3. 6 *Stereomicroscope Carl Zeiss Stemi DV4*

3.5 Tahapan Penelitian

3.5.1 Review Dokumen Perusahaan

Review dokumen perusahaan dilakukan untuk mendapatkan data data perusahaan yang berkaitan dengan *spring rod* sebagai pendukung hasil penelitian, berikut data yang harus diambil, yaitu:

1. Desain *spring rod*
2. Data operasi
3. Spesifikasi material
4. *Maintenance record*

3.5.2 Preparasi Spesimen

Tahap Persiapan ini diperlukan sebelum melakukan pengujian untuk menentukan penyebab kegagalan patahan *spring*

BAB III METODOLOGI PENELITIAN



rod pada PT Semen Indonesia. Persiapan ini berupa proses *cutting* menggunakan *wire cut* dengan ukuran dimensi 20x20x20 mm.

Proses pemotongan dilakukan pada bagian yang dekat dengan patahan dan bagian yang jauh dari patahan. Spesimen yang berada pada bagian yang jauh dari patahan akan diuji sebagai perbandingan antara material yang baru dengan material yang sudah patah/gagal.

3.5.3 Uji Komposisi

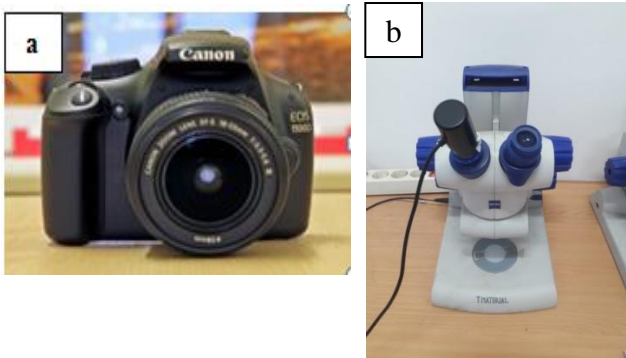
Pengujian komposisi kimia adalah untuk mengetahui komposisi kimia yang terdapat pada komponen yang mengalami kegagalan. Pada identifikasi komposisi kimia menggunakan alat *Optical Emission Spectroscopy (OES)* di Laboratorium Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya untuk mengetahui komposisi yang ada pada *spring rod*.

3.5.4 Pengamatan Makroskopik

Pengamatan makro dilakukan untuk mengetahui bentuk, tampilan dan lokasi komponen yang mengalami kegagalan secara makro. Pengamatan makro dilakukan menggunakan kamera dan mikroskop optik.

Adapun perlakuan terhadap sampel material sebagai berikut:

1. Melakukan pengambilan fotografi dengan kamera DSLR seperti pada Gambar 3.7.a untuk mendapatkan informasi bentuk dari kegagalan secara makro.
2. Pengamatan melalui *stereomicroscope Carl Zeiss Stemi DV4* seperti pada Gambar 3.7.b terhadap sampel material dengan perbesaran 8 kali untuk mendapatkan profil patahan makronya.



Gambar 3.7 (a) Kamera merk Nikon tipe DSLR. (b) Stereomicroscope Carl Zeiss Stemi DV4

3.5.5 Pengamatan Mikroskopik

Pada pengamatan mikroskopik dengan menggunakan mikroskop optik dilakukan untuk menganalisa fasa, bentuk, dan ukuran strukturmikro. Hal ini digunakan untuk mengetahui proses manufaktur yang terjadi pada material tersebut. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan mikroskop optik Olympus BX51M-RF. Pada pengujian metallografi dibagi menjadi beberapa tahap, yaitu :

1. *Grinding* : Menggosok spesimen dengan kertas gosok grade 80 – 2000 dan dialiri dengan air. Spesimen diputar 90° atau tegak lurus terhadap arah gosokan ketika pindah grade.
2. *Polishing* : Memoles spesimen dengan pasta alumina di atas piringan yang berputar cepat. Proses ini akan menghasilkan permukaan yang mengkilat seperti cermin.
3. *Etching* : Mencilup permukaan spesimen ke dalam larutan etsa nital
4. *Observasi* : Proses pengamatan struktur mikro secara langsung menggunakan mikroskop optik.



Gambar 3.8 Mikroskop Optik *Olympus BX51M-RF*

3.5.6 Uji Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui distribusi kekerasan dengan melakukan indentasi di beberapa titik pada sampel material. Pengujian ini dilakukan dengan metode Vickers dimana dalam pengujiannya memakai indenter bola baja, pembebanan sebesar 100 kgf dan waktu indentasi selama 15 detik. Pengujian ini menggunakan *Universal Hardness Tester HBRV 187.5A* di Laboratorium Metalurgi, Jurusan Teknik Material dan Metalurgi, ITS. Gambar 3.9. merupakan gambar dari mesin uji kekerasan.

Sebelumnya, sampel yang digunakan harus memiliki permukaan yang rata untuk menghindari cacat indentasi.



Gambar 3. 9 Universal Hardness Tester



3.5.7 Analisa Titik Kritis (FEM)

Analisa titik kritis dengan menggunakan metode elemen hingga dilakukan untuk mengetahui daerah pada material dengan tegangan terbesar yang dapat menyebabkan adanya patahan.

Software yang digunakan dalam penelitian adalah:

1. Inventor, merupakan salah satu software untuk membuat desain 3D yang kemudian hasilnya akan di import ke software Ansys 17.2.
2. Ansys 17.2 merupakan *software* yang mampu menyelesaikan persoalan-persoalan elemen hingga dari pemodelan hingga analisis dengan keakuratan yang cukup tinggi.

Pada pengujian analisa titik kritis (FEM) dibagi menjadi beberapa tahap, yaitu:

1. Memasukkan *engineering data* pada *software* Ansys 17.2 sesuai dengan material *spring rod* pada PT. Semen Indonesia.
2. Membuat desain 3D dari *spring rod* pada *software* Inventor dan hasilnya diimport ke *software* Ansys 17.2.
3. Melakukan *meshing* yang merupakan metode untuk membagi geometri dari benda kerja yang dianalisis menjadi elemen-elemen lebih kecil dengan besar yang sama satu sama lainnya.
4. Memberi *constrain* (batasan) pada desain 3D yaitu *fixed support* dan *pressure* sesuai dengan data operasi pada PT. Semen Indonesia.
5. Memberikan solusi menggunakan *equivalent stress*.



3.6 Rancangan Penelitian

Tabel 3.2 Rancangan penelitian

Bahan	Pengamatan Makroskopik	Pengujian <i>Spectromtry</i>	Uji Kekerasan	Uji Mikrostruktur
Bagian crack	√	-	√	√
Bagian bukan crack	-	√	√	√



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

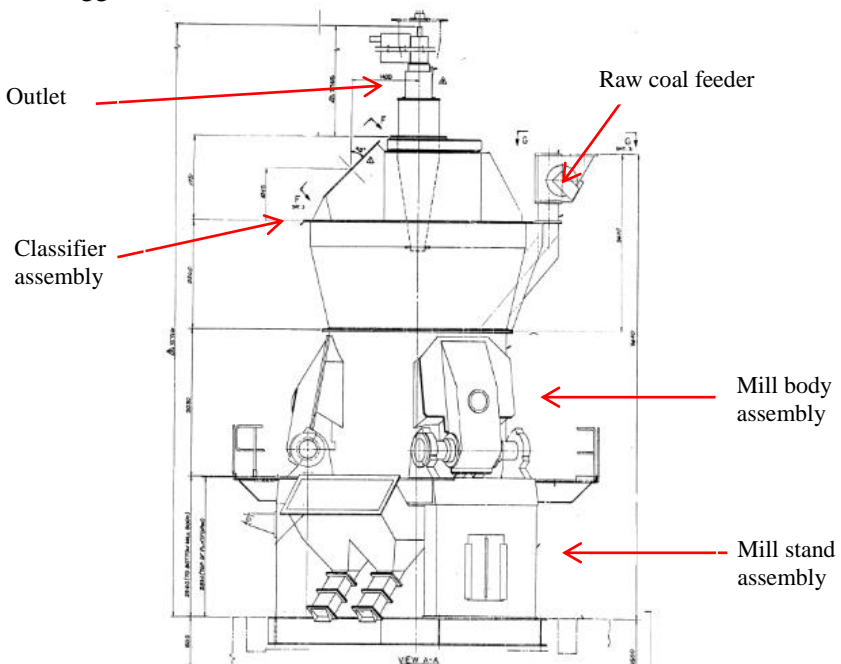
BAB IV

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Data

4.1.1 Record Spring Rod di Coal Mill Tuban 1

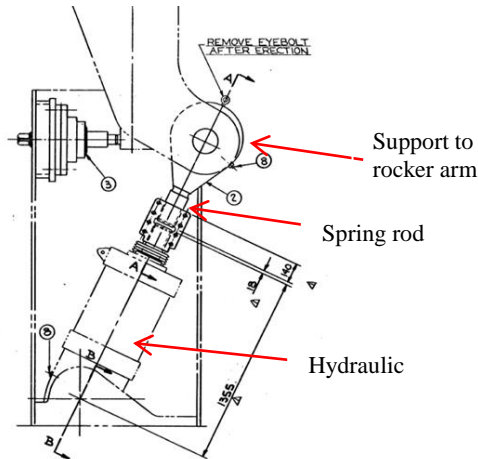
Pada bulan Januari 2017, PT. Semen Indonesia melaksanakan *maintenance* rutin yang berlangsung selama 2 minggu. Kemudian ditemukan sebuah patahan dari komponen *spring rod* yang merupakan bagian dari sistem *spring suspension assembly* pada mesin *Coal Mill* Tuban 1. Komponen *spring rod* ini telah bekerja selama 10 tahun. Menurut operator, kasus patahnya *spring rod* ini belum pernah terjadi sebelumnya dan baru terjadi kali ini. Material standard dari *spring rod* menggunakan AISI 4140.



Gambar 4.1 Desain *Coal Mill* Tuban 1



Gambar 4.1 menunjukkan mesin *Coal Mill Tuban 1* yang meliputi bagian *raw coal feeder*, *mill body assembly*, *mill stand assembly*, *classifier assembly*, dan *outlet*. *Raw coal feeder* merupakan tempat masuknya batu bara yang belum diolah untuk masuk ke dalam *mill body assembly*. *Mill body assembly* merupakan komponen untuk menggerus agar ukuran batu bara menjadi lebih kecil. *Mill body assembly* ditopang oleh *mill stand assembly* yang terdiri dari *spring suspension assembly* dan *hydraulic* agar getaran pada *mill body assembly* stabil. Batu bara yang halus dihisap dan disaring oleh *classifier assembly* yang terdiri dari saringan dan *exhaust fan*. Setelah itu, batu bara halus keluar dari *coal mill* melewati saluran *outlet*.

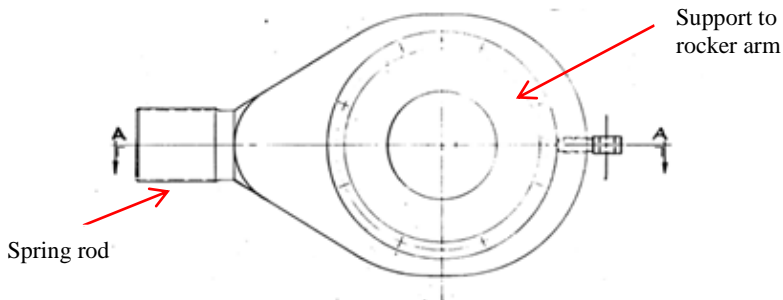


Gambar 4.2 Desain *spring suspension assembly*

Gambar 4.2 menunjukkan desain *spring suspension assembly*. *Spring suspension assembly* terdiri dari beberapa komponen, yaitu *support to rocker arm*, *spring rod*, dan *hydraulic*. *Support to rocker arm* berfungsi untuk menghubungkan *spring suspension assembly* ke komponen *rocker arm*. *Spring rod* merupakan batang ulir yang berfungsi menjadi



batang *hydraulic* yang menerima gaya dari *hydraulic*. *Hydraulic* merupakan komponen pemberi reaksi gaya agar *mill body assembly* stabil ketika terjadi getaran. Di dalam *hydraulic* terdapat fluida air *incompressible* yang merupakan pemberi reaksi gaya ke atas dan dapat dikontrol tekanan fluida di dalamnya.



Gambar 4.3 Desain *spring rod* pada *spring suspension assembly*

Gambar 4.3 menunjukkan desain *spring rod* pada *spring suspension assembly*. *Spring rod* terhubung dengan *support to rocker arm* yang merupakan penghubung ke komponen *rocker arm*. Pada kasus ini, *spring rod* merupakan material yang terjadi kegagalan. *Spring rod* pada Coal Mill Tuban 1 tidak memiliki sertifikat material yang digunakan.

Tabel 4.1 dan Tabel 4.2 menunjukkan dimensi *spring rod* dan data operasi pada Coal mill Tuban 1.

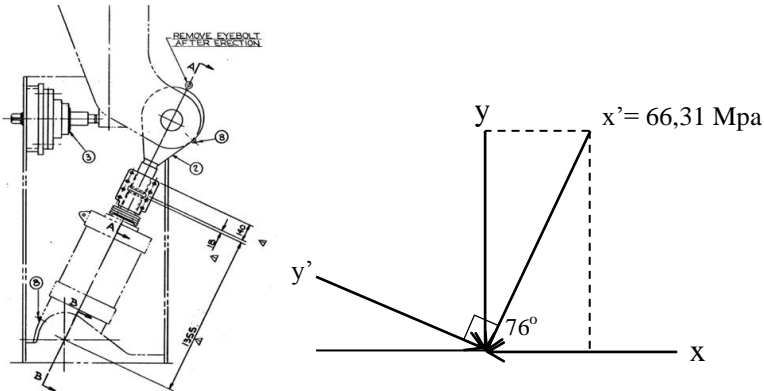
Tabel 4.1 Dimensi *spring rod* pada Coal Mill Tuban 1

Panjang (cm)	14
Diameter dalam (cm)	11,8
Diameter luar (cm)	13

Tabel 4.2 Data operasi Coal Mill Tuban 1

<i>Hydraulic pneumatic pressure</i> (kg/cm ²)	69
Temperatur kerja (°C)	61

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

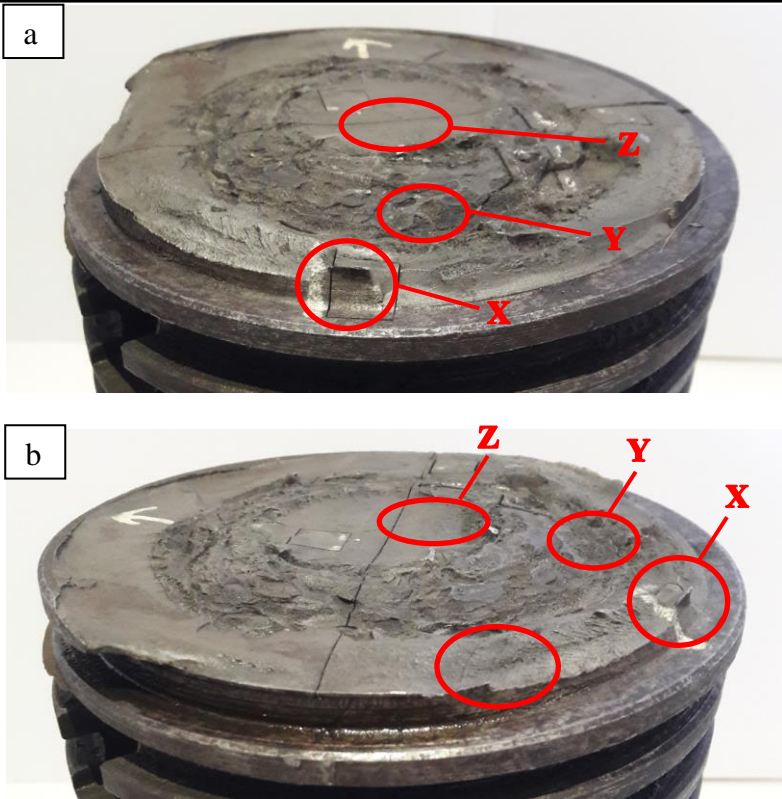


Gambar 4. 4 Tegangan yang bekerja pada *spring rod*

Gambar 4.4 menunjukkan tegangan yang bekerja pada komponen *spring rod*. Tegangan x' merupakan tegangan *tension – compression* dan tegangan y' merupakan tegangan *bending*. Tegangan x' merupakan tegangan yang terjadi sebenarnya, yaitu 66,31 Mpa, dan tegangan y' merupakan tegangan proyeksi dari tegangan x' . Tegangan y' memiliki nilai tegangan sebesar nol karena memiliki sudut 90° dengan tegangan x' . Sehingga didapatkan bahwa tegangan yang bekerja pada *spring rod* merupakan tegangan *tension – compression*.

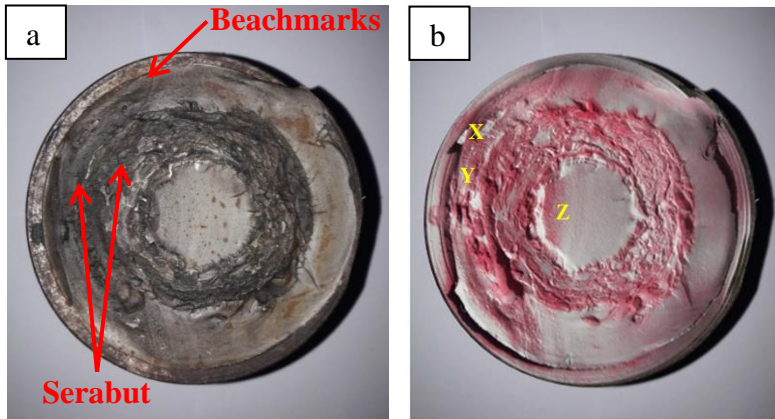
4.1.2 Pengamatan Hasil Makro

Pengamatan visual secara makro menggunakan kamera DSLR pada komponen *spring rod* yang mengalami patahan. Gambar 4.4 menunjukkan foto makro permukaan *spring rod* yang mengalami kegagalan. Gambar 4.5 menunjukkan foto makro permukaan *spring rod* yang mengalami kegagalan secara horizontal. Sedangkan Gambar 4.6 (a) merupakan permukaan *spring rod* sebelum dilakukan *liquid penetrant test* dan Gambar 4.6 (b) merupakan permukaan *spring rod* setelah dilakukan *liquid penetrant test*. Pengujian *liquid penetrant* dilakukan untuk mempermudah melihat morfologi pola patahan pada permukaan.



Gambar 4.5 Foto makro permukaan *spring rod* yang mengalami kegagalan secara horizontal pada sudut pandang yang berbeda

Gambar 4.5 menunjukkan permukaan *spring rod* yang mengalami kegagalan secara horizontal dengan sudut pengambilan gambar yang berbeda. Dapat dilihat bahwa *initial crack* berada pada akar gigi dari ulir yang dapat dilihat pada titik X, kemudian retakan merambat pada permukaan *spring rod* (*crack propagation*) yang dapat dilihat pada titik Y, dan terjadi *final fracture* atau *final crack* yang dapat dilihat pada titik Z.

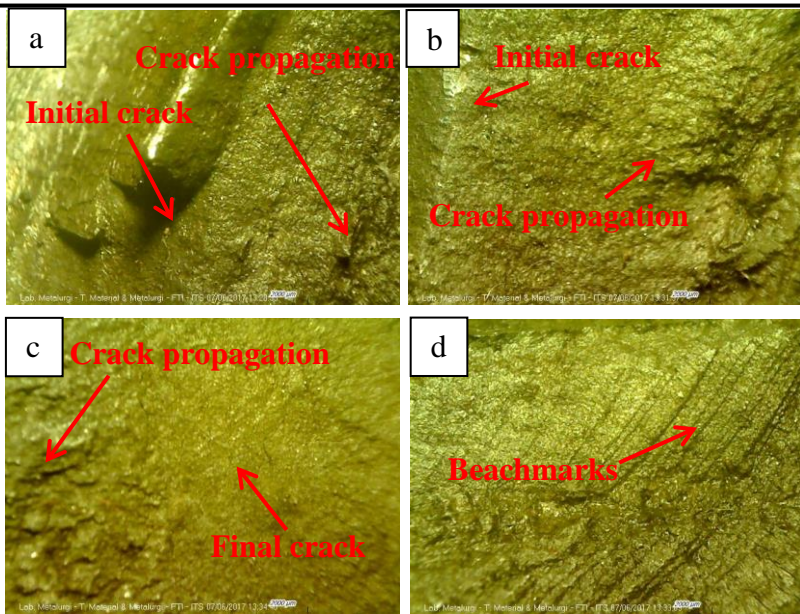


Gambar 4.6 Foto makro permukaan *spring rod* yang mengalami kegagalan secara vertikal (a) sebelum dilakukan *liquid penetrant test* (b) setelah dilakukan *liquid penetrant test*

Gambar 4.6 (b) menunjukkan permukaan *spring rod* yang patah akibat tegangan *tension – compression* yang berulang setelah dilakukan *liquid penetrant test*. Tegangan *tension – compression* mengakibatkan inisiasi patahan pada diameter terluar *spring rod* dengan intensitas tegangan yang rendah, yang dapat dibuktikan dengan banyaknya serabut yang terbentuk pada pola patahan. Daerah patahan dibagi menjadi 3 titik yaitu retak awal (*initial crack*) pada titik X, penjaralan retak (*crack propagation*) pada titik Y, dan *final crack* ditunjukkan pada titik Z.

4.1.3 Pengamatan Hasil Stereomicroscope

Gambar 4.7 menunjukkan hasil foto permukaan dari *spring rod* difoto menggunakan *stereomicroscope* perbesaran 8 kali. Gambar 4.7 (a) menunjukkan retak awal (*crack initiation*), Gambar 4.7 (b) menunjukkan *crack propagation*, Gambar 4.7 (c) menunjukkan patah akhir (*final crack*) dan Gambar 4.7 (d) menunjukkan *beachmarks*.



Gambar 4.7 Foto *stereomicroscope* pada daerah patahan *tension – compression* pada (a) *initial crack*; (b) *crack propagation*; (c) *final crack*; dan (d) *beachmarks*

Gambar 4.7 (a) menunjukkan retak awal (*crack initiation*) pada *spring rod* akibat tegangan *tension – compression* berulang. Retak awal ditunjukkan tanda panah yang kemudian arah retakaannya menjalar ke bawah. *crack initiation* memiliki butir lebih halus dibandingkan dengan *crack propagation*. Gambar 4.7 (b) menunjukkan *crack propagation* yang ditunjukkan oleh tanda panah yang kemudian arah retakaannya menjalar ke samping kanan dan menjalar lagi ke bawah. Terlihat pada *crack propagation* memiliki butir yang lebih kasar jika dibandingkan dengan *initial crack*. Gambar 4.7 (c) menunjukkan patah akhir (*final crack*). *Final crack* yang memiliki butir permukaan yang lebih halus jika dibandingkan dengan *crack propagation*. Gambar 4.7 (d) menunjukkan adanya *beachmarks* pada permukaan patahan *spring rod*. *Beachmarks* mengindikasikan adanya patah

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN



lelah. Profil *beachmarks* merupakan hasil dari fluktuasi beban yang diberikan pada benda.

Meninjau hasil pengamatan makro dengan menggunakan *stereomicroscope* tampak patahan yang terjadi pada permukaan *spring rod* dapat di kategorikan patah lelah. Patah lelah terjadi melalui tiga tahap yaitu tahap retak awal (*crack initiation*), tahap penjaralan retak (*crack propagation*), dan tahap patah statis (*final crack*). Setelah retak lelah merambat cukup jauh, maka beban yang bekerja hanya akan didukung oleh penampang tersisa yang belum retak dan akhirnya komponen akan patah (tahap *final failure*). (Akuan, 2007)

4.1.4 Hasil Pengujian Komposisi Kimia

Uji Komposisi kimia menggunakan OES (*Optical Emission Spectroscopy*) pada komponen *spring rod*. Pengujian dilakukan untuk mengamati komposisi pada spesimen *spring rod*. Hasil pengujian komposisi kimia dan komparasi terhadap standarnya ditunjukkan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Hasil uji komposisi

Unsur (%)	<i>Spring rod</i>	AISI 4140
C	0.342	0.380 – 0.430
Si	0.302	0.15 – 0.30
Mn	0.800	0.75 – 1.0
P	0.0111	≤0.035
S	0.0182	≤0.040
Cr	0.970	0.80 – 1.10
Mo	0.190	0.15 – 0.30
Ni	0.206	-
Al	0.0258	-
Cu	0.189	-

Tabel 4.3 menunjukkan komposisi kimia pada sampel uji dari *spring rod*. Berdasarkan hasil pengujian komposisi diatas, komposisi kimia *spring rod* tidak sesuai dengan material standar

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

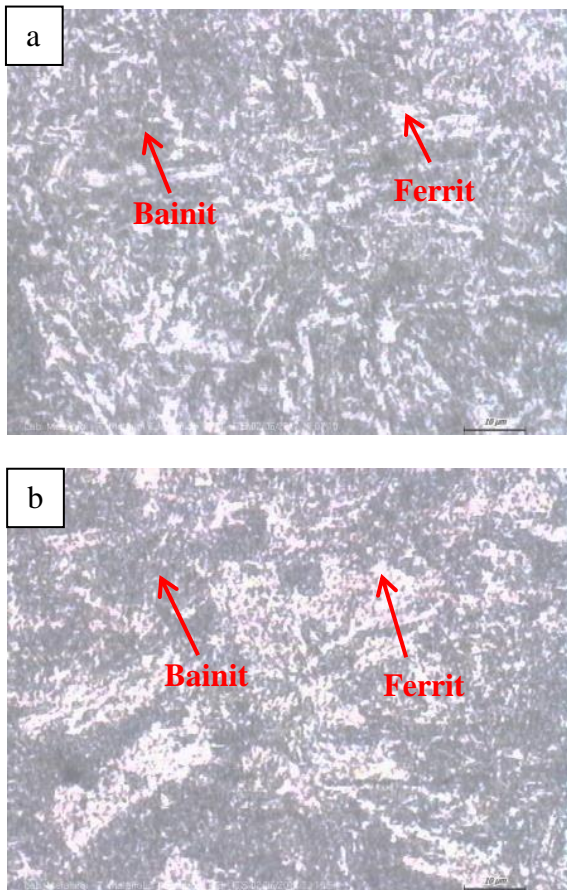


AISI 4140. Komposisi standar untuk *AISI 4140* memiliki kadar karbon pada *range* 0.380 – 0.430%, sedangkan pada *spring rod* memiliki kadar karbon 0.342%. Kadar karbon *spring rod* memiliki selisih lebih sedikit dengan AISI 4140 yaitu 0.038%, sehingga dapat menyebabkan kekuatan dan kekerasan *spring rod* lebih rendah dari standar. Selain itu, terdapat unsur material yang tidak ada pada standar, yaitu Ni sebesar 0.206%, Al sebesar 0.0258%, dan Cu sebesar 0.189%. Unsur – unsur lain dapat menyebabkan material *spring rod* memiliki hardenability lebih tinggi dibandingkan material standar AISI 4140.

4.1.5 Hasil Pengujian Metalografi

Pengujian ini dilakukan menggunakan mikroskop optik pada daerah *spring rod* yang dekat dari patahan dan jauh dari patahan dengan perbesaran 1000x, sehingga dapat diamati perubahan struktur mikro yang menyebabkan berubahnya sifat dari material tersebut dan memicu terjadinya patahan.

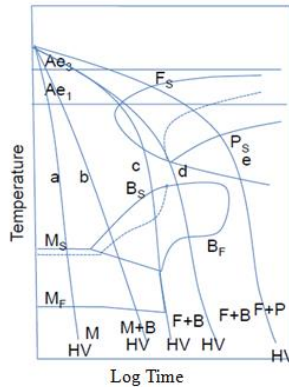
Gambar 4.8 menunjukkan foto struktur mikro pada perbesaran 1000 kali dari material yang jauh dari patahan dan dekat dari patahan dan menunjukkan perbedaan morfologi butir dari kedua material tersebut. Berdasarkan hasil foto mikroskopik tersebut, didapatkan bahwa bagian terang adalah fasa ferrit dan bagian gelap adalah fasa bainit. Gambar 4.8 (a) menunjukkan bagian bainit dari material yang jauh dari patahan memiliki luas lebih banyak dibandingkan dengan luas bainit dari material yang jauh dari patahan, yang ditunjukkan pada Gambar 4.8 (b). Selain itu, bainit dari material yang dekat dari patahan mengalami *elongation* dibandingkan dengan bainit yang jauh dari patahan sehingga menyebabkan adanya *strain hardening* pada material *spring rod*.



Gambar 4. 8 Foto struktur mikro pada perbesaran 1000x: (a) jauh dari patahan; (b) dekat dari patahan

Bainit dan ferrit terbentuk pada material didapat dari perlakuan panas dengan pendinginan kontinyu yang sangat lambat ditunjukkan oleh diagram *continuous cooling transformation* pada garis d di Gambar 4.9.

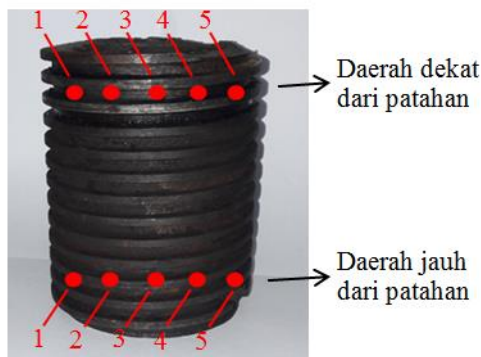
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN



Gambar 4.9 Diagram *continuous cooling transformation* AISI 4140

4.1.6 Hasil Pengujian Kekerasan Vickers

Pengujian *hardness* ini digunakan untuk mengetahui distribusi kekerasan pada *spring rod* yang mengalami kegagalan dan yang berada jauh dari kegagalan. Pengujian ini menggunakan indentasi sebanyak 5 titik pada masing – masing daerah, indentasi dilakukan pada daerah yang dekat dan jauh dari patahan dengan beban sebesar 100 kgf. Pembagian daerah indentasi dapat dilihat pada Gambar 4.10.



Gambar 4.10 Titik indentasi pengujian kekerasan

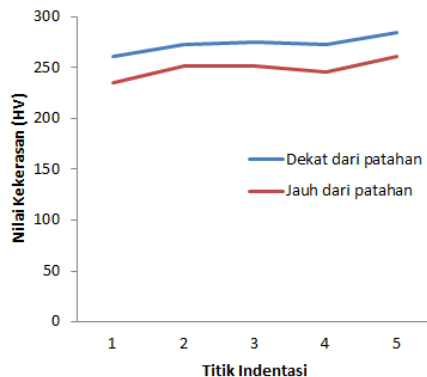


Pada Tabel 4.4 diperlihatkan nilai kekerasan yang didapatkan pada daerah patahan dan yang jauh dari patahan, serta grafik distribusi kekerasan.

Dari Tabel 4.4 tersebut bisa terlihat bahwa nilai kekerasan di daerah yang jauh dari patahan memiliki rata rata sebesar 249,2 HV, sedangkan yang dekat dengan patahan memiliki nilai rata rata sebesar 273,4 HV. Pada Gambar 4.11 menunjukkan grafik kekerasan dari material jauh dari patahan dan dekat dari patahan.

Tabel 4.4 Data hasil pengujian kekerasan

Nilai Kekerasan (HV)		
Daerah Indentasi	Jauh dari patahan	Dekat dari patahan
1	235	261
2	251	273
3	252	276
4	246	273
5	262	284
Rata – Rata	249.2	273.4



Gambar 4.11 Grafik nilai kekerasan pada material jauh dari patahan dan dekat dari patahan



4.1.7 Analisa Titik Kritis

Software Ansys 17.2 digunakan untuk melakukan permodelan pada komponen *spring rod* untuk mengetahui titik tegangan yang paling tinggi pada komponen tersebut. Analisa tegangan dilakukan dengan batasan *fixed support* dan tekanan yang diberikan. Tekanan diberikan dari arah bawah menuju ke atas.

Sebelum dilakukan analisa titik kritis pada komponen *spring rod*, dilakukan perhitungan *actual stress* untuk mengetahui berapa beban yang dapat ditanggung oleh komponen *spring rod*. *Ultimate stress* dari baja AISI 4140 sebesar 655 MPa yang dapat dilihat pada Tabel 2.2

- Perhitungan *Actual Stress*

$$\sigma_A = \frac{\sigma_U}{N}$$

Dengan : σ_A = *Actual Stress* (MPa)

σ_U = *Ultimate Stress* (Mpa)

N = *Factor of Safety* (Untuk baja dengan *shock load* memiliki nilai 12)

Maka,

$$\sigma_A = \frac{\sigma_U}{N} = \frac{655}{12} = 54,583 \text{ MPa}$$

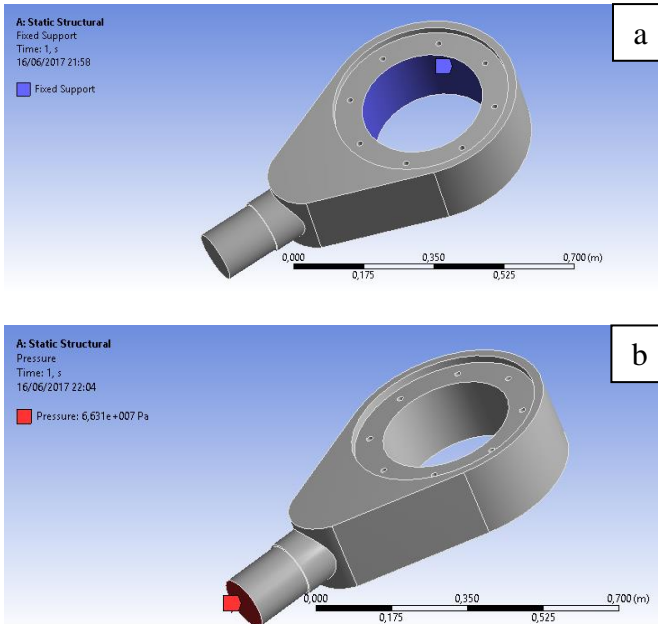
Sehingga, tegangan yang dapat ditanggung oleh *spring rod* sebesar 54,384 MPa.

Kemudian dilakukan perhitungan tekanan yang didapat oleh *spring rod*.

- Perhitungan Tekanan

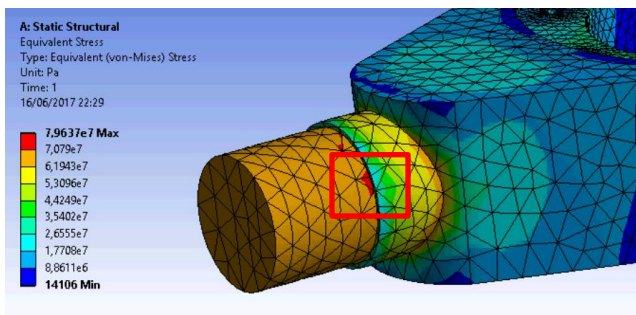
$$\begin{aligned} \text{Hydraulic pneumatic pressure} &= 69 \text{ kg/cm}^2 \\ &= 676,2 \text{ kgf/cm}^2 \\ &= 66,31 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

Fixed support dan tekanan yang diberikan dapat dilihat pada Gambar 4.12.



Gambar 4.12 Analisa tegangan dengan batasan (a) *fixed support* (b) tekanan *hydraulic pneumatic*

Kemudian dilakukan *meshing* pada software Ansys 17.2 yang ditunjukkan pada Gambar 4.13.



Gambar 4.13 Permodelan setelah dilakukan *meshing*

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN



Pada Gambar 4.13 terlihat bahwa maksimum tegangan yang terjadi pada komponen *spring rod* terpusat pada bagian yang ditunjukkan oleh warna merah sebesar 79,637 MPa, di mana pada bagian tersebut merupakan bagian yang menyambungkan *spring rod* ke komponen *support to rocker arm*. Tegangan sebesar 79,637 MPa tersebut melebihi tegangan *actual / actual stress* dari *spring rod* sebesar 54,583 MPa, sehingga dapat terjadi patahan pada daerah tersebut. Hal ini sesuai dengan dengan temuan patahan yang berada pada bagian tersebut.

4.2 Pembahasan

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan selama penelitian ini, faktor-faktor penyebab kegagalan dapat dibagi menjadi beberapa faktor, yaitu kesalahan pemilihan material dan tegangan siklik pada material.

Material standar yang seharusnya digunakan untuk *spring rod* adalah AISI 4140. Sedangkan setelah dilakukan pengujian komposisi menggunakan OES (*Optical Emission Spectroscopy*) pada komponen *spring rod*, didapatkan perbedaan komposisi dari standar. Komposisi standar untuk *spring rod* yang seharusnya yaitu kadar karbonnya berada pada *range* 0.380 – 0.430%. Kadar karbon *spring rod* memiliki selisih lebih sedikit dengan AISI 4140 yaitu 0.038%, sehingga dapat menyebabkan kekuatan dan kekerasan *spring rod* lebih rendah dari standar. Selain itu, terdapat unsur material tambahan yang tidak ada pada standar, yaitu Ni sebesar 0.206%, Al sebesar 0.0258%, dan Cu sebesar 0.189%. Unsur – unsur lain ini dapat menyebabkan material *spring rod* memiliki *hardenability* lebih tinggi dibandingkan material standar AISI 4140.

Hasil pengamatan fraktografi menunjukkan bahwa *Initial Crack*, merupakan retak awal yang ditandai dengan permukaan yang terlihat terang dan halus. Menurut Nishida Shinichi (1992). Awal retak biasanya dimulai dari permukaan. Hal ini terjadi karena permukaan menerima beban terbesar dan paling memungkinkan terjadinya konsentrasi tegangan yang disebabkan



oleh adanya perubahan dimensi pada permukaan atau proses pengerjaan tertentu pada material. Adanya cacat dalam juga menyebabkan konsentrasi tegangan. *Crack Propagation*, merupakan penjaralan retak dengan permukaan yang berwarna lebih gelap dan adanya perbedaan ketinggian yang terlihat secara makro bila dibandingkan dengan daerah *initial crack*. *Final crack* merupakan daerah rambatan akhir dengan permukaan yang kasar dengan butir-butir yang kasar (*coarse grains*).

Berdasarkan pengamatan mikroskopik didapatkan fasa ferrit dan bainit dari material *spring rod*, sedangkan seharusnya jika sesuai standar AISI 4140 memiliki fasa ferrit dan perlit. Namun, tidak terdapat sertifikat material *spring rod* dari PT. Semen Indonesia, sehingga tidak diketahui perlakuan yang sudah dilakukan pada material *spring rod* tersebut. Pada material yang jauh dan dekat dari patahan didapatkan morfologi butir yang berbeda. Pada material yang dekat dari patahan memiliki morfologi butir bainit yang lebih panjang dibandingkan dengan bainit pada material yang jauh dari patahan. Hal ini menunjukkan adanya proses *strain hardening* pada material yang dekat dari patahan.

Berdasarkan uji kekerasan yang dilakukan terjadi kenaikan nilai kekerasan dari daerah yang jauh dari patahan ke daerah yang dekat patahan yang dapat dilihat pada Tabel 4.4. Hal ini menunjukkan pada daerah dekat patahan mengalami peningkatan tegangan akibat deformasi yang terjadi. Menurut Miyamoto (2012), hal ini dikarenakan efek *strain hardening* di bagian yang terkena deformasi. Nilai kekerasan rata – rata yang didapatkan pada material yang jauh dari patahan adalah 249,2 HV, sedangkan nilai kekerasan rata – rata pada material yang dekat dari patahan adalah 273,4 HV. Nilai kekerasan tersebut melebihi standar kekerasan untuk AISI 4140, yaitu 207 HV. Hal ini dikarenakan material *spring rod* sudah dilakukan perlakuan panas yang sudah dibuktikan pada foto struktur mikro pada Gambar 4.8.

Berdasarkan analisa titik kritis yang dilakukan pada software Ansys 17.2, dilakukan *meshing* pada komponen *spring*

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN



rod. Hasil dari *meshing* menunjukkan bahwa terjadi tegangan maksimal pada komponen *spring rod* di sisi ulir yang berwarna merah sebesar 79,637 MPa. Tegangan sebesar 79,637 MPa tersebut melebihi tegangan *actual* / *actual stress* dari *spring rod* sebesar 54,583 MPa, sehingga dapat terjadi patahan pada daerah tersebut. Hal ini menunjukkan bahwa kemungkinan terjadinya kegagalan berada pada titik ini.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan serangkaian percobaan dan analisa yang telah dilakukan, terdapat beberapa kesimpulan mengenai kegagalan *spring rod* pada *coal mill* Tuban 1 antara lain sebagai berikut:

1. Faktor yang menyebabkan terjadinya kegagalan komponen *spring rod* pada *coal mill* Tuban 1 yaitu kesalahan pemilihan dan kesalahan perlakuan panas. Material *spring rod* tidak sesuai dengan standarnya yaitu AISI 4140 dengan kurangnya kadar karbon dan tambahan unsur lainnya, dan material *spring rod* telah dilakukan perlakuan panas yang menyebabkan kekerasannya meningkat, yang seharusnya tidak dilakukan perlakuan panas jika mengacu pada standarnya yang membuat material *spring rod* lebih ulet.
2. Mekanisme kegagalan komponen *spring rod* pada *coal mill* Tuban 1 diawali oleh *initial crack* pada akar gigi pada ulir dikarenakan adanya tegangan yang berulang yang kemudian retakan merambat pada permukaan *spring rod* sebelum terjadinya *final fracture* dikarenakan *spring rod* tidak mampu menahan tegangan yang terjadi sehingga menyebabkan *fatigue failure*.

5.2 Saran

Adapun saran yang diberikan penulis kepada PT. Semen Indonesia adalah:

1. Pembelian *spring rod* harus disertakan dengan sertifikat komposisi kimia dan sifat mekanik dari *spring rod* serta harus sesuai dengan spesifikasi standard *spring rod*.
2. Umur pemakaian *spring rod* harus jelas dan dilakukan penggantian berkala apabila umur pemakaian *spring rod* sudah habis.

DAFTAR PUSTAKA

- _____. 2002. **ASM Handbook Vol.12 Fractography**. Material Park. Ohio. USA. ASM International.
- _____. 2002. **ASM Handbook Vol.19 Fatigue and Fracture**. Material Park. Ohio. USA. ASM International.
- Aji, W. S. dkk. 2014. **Analisis Kegagalan Baut Pengikat Gearbox pada Lokomotif Kereta Rel Diesel Elektrik (KRDE)**. Semarang : Universitas Diponegoro
- Akuan, Abrianto. 2007. **Kelelahan Logam**. Bandung : Universitas Jenderal Achmad Yani
- Avner, Sidney H. 1974. **Introduction To Physical Metallurgy**. Singapore : McGraw-Hill Book Co.
- Azom. 2012. **AISI 4140 Chrome-Molybdenum High Tensile Steel**. Azom.com (diakses pada 9 Februari 2017)
- Bayrakceken, H. dkk. 2006. **Failures of Single Cylinder Diesel Engines Crank Shafts**. Afyon, Turkey : Afyon Kocatepe University
- Calister, William. 2007. **Material Science and Engineering An Introduction**. New York : John Wiley & Sons, Inc.
- Cheng, Kun. 2011. **Finite Element Analysis For Rocker Arms Of Vertical Roller Mill On The ANSYS Workbench**. China : College Of Manufacturing Science and Engineering, Southwest University Of Science and Technology, Mianyang.



- Colangelo, V.J. 1989. **Analysis of Metallurgical Failures Second Edition**. Singapore : John Wiley & Sons, Inc.
- Dieter, George E. 1987. **Metalurgi Mekanik**. Jakarta : Erlangga.
- Jensen, R.D Lucas dkk. 2011. **Wear Mechanism Of Abrasion Resistant Wear Parts In Raw Vertical Roller Mills**. Denmark : Technical University Of Denmark.
- Khurmi, R.S. and Gupta, J. K.. 2005. **Machine Design**. New Delhi : Eurasia Publishing House.
- Nishida, Shin-ichi.1992. **Failure Analysis in Engineering Application**. Jordan Hill, Oxford : Butterworth-Heinemann Ltd.
- R. Brooks, Charlie and Choudhury, Ashok. 2002. **Failure Analysis of Engineering Materials**. New York : McGraw-Hill.
- Semen Padang. 2015. **Proses Pembuatan Semen**. Semenpadang.co.id (diakses pada 9 Februari 2017)
- Wang, QianHong dkk. 2012. **Design and Realization Of Roller Mill Control System**. China University Of Jinan
- Widyawati, Fauzi. 2014. **Analisis Sifat Mekanik pada Material AISI 4140 dan Creusabro 8000 untuk Aplikasi Gigi Bucket Produksi PT. Polman Swadaya**. Bandung : Polman Bandung

LAMPIRAN

1. Hasil Uji OES

POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
LABORATORIUM DT NDT

OES Chemical Results

Sample ID : B Material : CS
Customer : Sdr. RIYAN TRI K (T.MATERIAL) Dimension : -
Lab-no : UJI BAHAN Heat-no. : -
Operator : ELHAM Ka. Labororium : M. Thoriq Wahyudi
Date: 21/02/2017

Spektralanalyse Foundry-MASTER Grade :

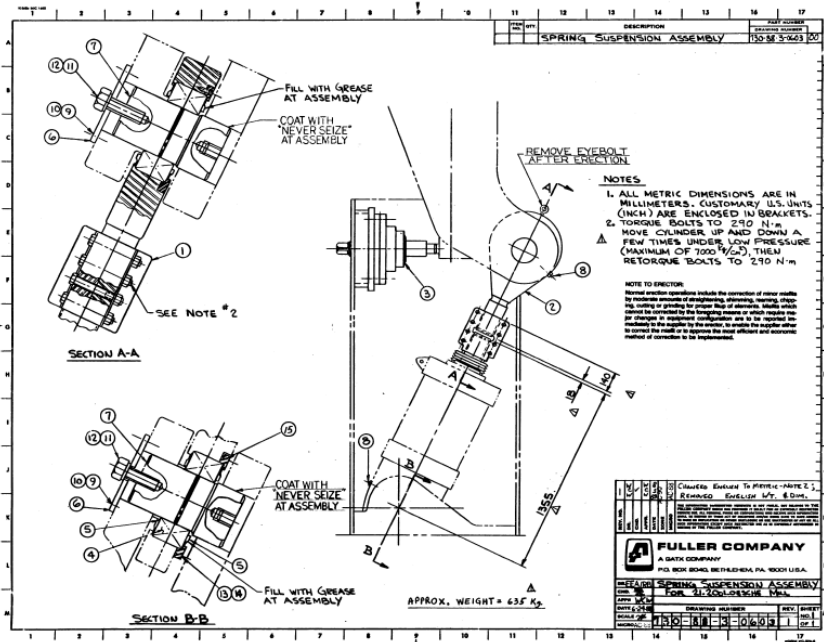
	Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
1	96.8	0.344	0.300	0.796	0.0103	0.0172	0.970	0.194
2	96.8	0.344	0.307	0.799	0.0114	0.0202	0.968	0.187
3	96.8	0.338	0.300	0.805	0.0117	0.0172	0.973	0.190
Ave	96.8	0.342	0.302	0.800	0.0111	0.0182	0.970	0.190

	Ni	Al	Co	Cu	Nb	Ti	V	W
1	0.295	0.0271	0.0085	0.190	0.0059	0.0020	0.0064	0.0018
2	0.296	0.0262	0.0087	0.180	0.0091	0.0021	0.0076	0.0014
3	0.207	0.0241	0.0082	0.198	0.0045	0.0015	0.0039	< 0.0010
Ave	0.206	0.0258	0.0085	0.189	0.0065	0.0019	0.0060	0.0010

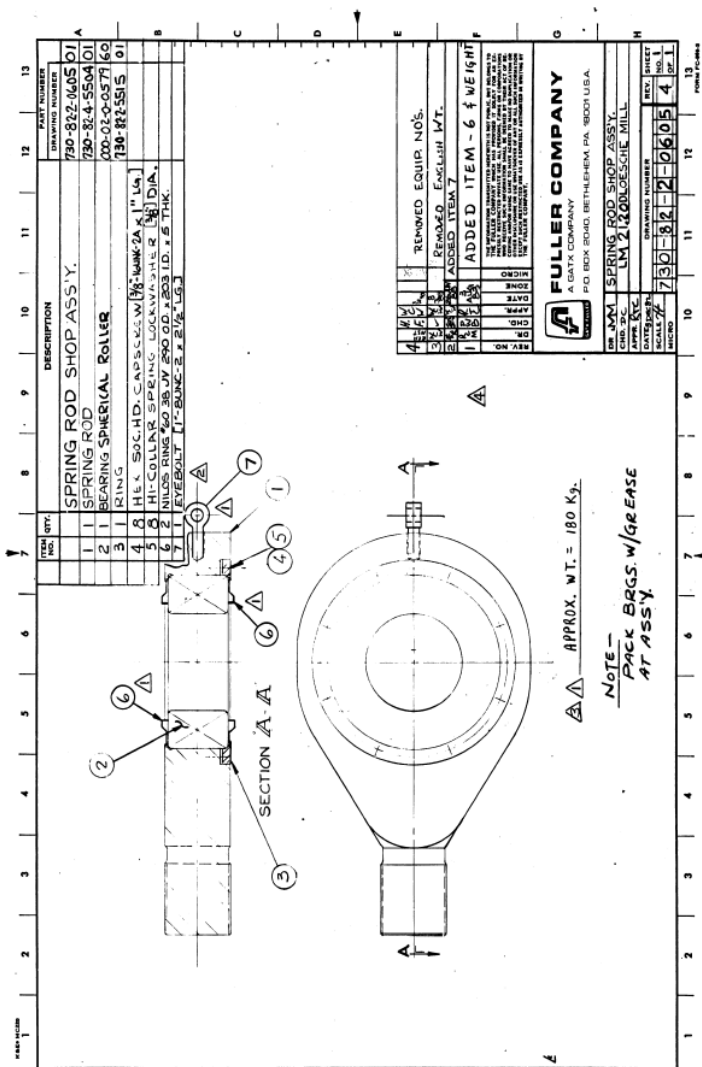
	Pb	Sn	B	Ca	Zr	Zn	Bi	As
1	0.0012	0.0133	0.0001	< 0.0001	0.0054	0.0021	0.0026	0.0123
2	< 0.0010	0.0123	0.0001	< 0.0001	0.0060	0.0009	0.0035	0.0097
3	0.0014	0.0146	0.0001	< 0.0001	0.0052	0.0024	0.0037	0.0088
Ave	0.0011	0.0134	0.0001	< 0.0001	0.0055	0.0018	0.0033	0.0103

	N	Se	Sb	Ta
1	< 0.0030	0.0078	0.0140	< 0.0040
2	< 0.0030	0.0082	0.0263	< 0.0040
3	< 0.0030	0.0051	0.0058	0.0040
Ave	< 0.0030	0.0070	0.0154	< 0.0040

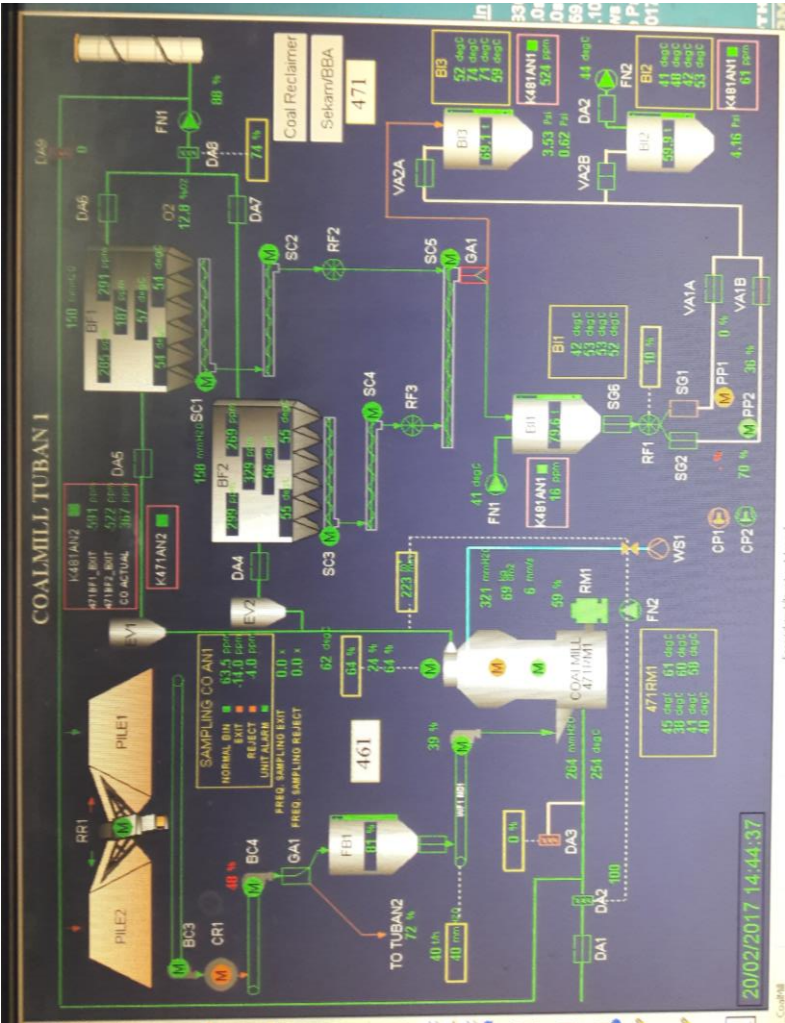
2. Desain Spring Suspension Assembly Coal Mill Tuban 1 PT. Semen Indonesia Tbk.



3. Desain Spring Rod Coal Mill Tuban 1 PT. Semen Indonesia Tbk.



4. Data Operasi Coal Mill Tuban I



UCAPAN TERIMA KASIH

Pada pengerjaan tugas akhir ini penulis banyak mendapat bantuan dari berbagai pihak, pada kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Allah SWT karena dengan rahmat dan kuasa-Nya penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini dengan baik dan tepat waktu.
2. Ayah, Ibu, dan Kakak - Kakak tercinta, serta seluruh keluarga yang telah memberikan banyak doa, dukungan, semangat, cinta kasih, motivasi, dan inspirasi.
3. Lukman Noerochim S.T., M.Sc. Eng., PhD dan Alvian Toto Wibisono ST., MT. selaku dosen pembimbing Tugas Akhir penulis yang telah membimbing dan memberikan banyak ilmu selama pengerjaan tugas akhir ini.
4. Pak Didik selaku pembimbing dari PT. Semen Indonesia Tbk. yang telah membimbing dan memberikan banyak ilmu selama pengerjaan tugas akhir ini.
5. Dr. Agung Purniawan, ST., M,Eng selaku Ketua Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI – ITS.
6. Dr. Eng. Hosta Ardhyanta ST., M.Sc. selaku Koordinator Tugas Akhir Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS.
7. Budi Agung Kurniawan ST., M.Sc. selaku dosen wali yang sangat mengayomi selama penulis menjalani pendidikan di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi.
8. Seluruh dosen dan karyawan Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS yang telah membimbing penulis hingga terciptanya laporan ini.
9. Sahabat terbaik penulis yaitu Himomits yang telah memberikan semangat dan energi positif selama penulis menjadi mahasiswa di JTMM FTI-ITS.
10. Teman sekamar penulis M. Miftah Fadlika M. dan teman – teman kost Pak Didik yang diajarkan untuk selalu pantang

menyerah yang selalu ada untuk berbagi suka dan duka selama penulis menjadi mahasiswa di JTMM FTI-ITS.

11. M. Miftah Fadlika M. dan Novia Diajeng A., teman-teman satu tim tugas akhir di PT. Semen Indonesia yang telah memberikan bantuan, semangat, dan cerita selama pengerjaan tugas akhir ini.
12. Hana Khairunnisa yang selalu memberikan kesan baik dan semangat positif kepada penulis.
13. Teman-teman seperjuangan MT15 yang memberikan banyak cerita dalam kehidupan penulis.
14. Dan seluruh pihak yang telah memberikan partisipasi dalam Tugas Akhir ini.
15. Serta seluruh pihak yang belum bisa dituliskan satu per satu oleh penulis. Terimakasih atas dukungan dan bantuan teman-teman sekalian.

BIODATA PENULIS



Penulis lahir di Kota Cilacap pada tanggal 23 April 1995. Penulis merupakan anak ketiga dari tiga bersaudara pasangan Agus Darwanto dan Ice Rosmiati. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SDI Al-Azhar 16 Cilacap, SMPN 1 Bogor, dan SMAN 1 Bogor. Setelah lulus dari jenjang SMA pada tahun 2013, penulis melanjutkan pendidikan ke jenjang perguruan tinggi di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Semasa kuliah penulis aktif mengikuti kegiatan organisasi, pelatihan, dan seminar. Penulis pernah menjabat sebagai sekretaris Unit Kerja Khusus HMMT ITS 2015/2016. Selain itu penulis sempat aktif sebagai Asisten Laboratorium Teknik Pengecoran di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi.

Penulis memiliki pengalaman kerja praktek di PT. Pertamina Indonesia pada bulan Juni 2016. Selama kerja praktek penulis mendalami topik terkait analisa kegagalan dengan judul “Analisa Kegagalan pada Kolom 91C403 pada Sulfur Recovery Unit di PT. Pertamina RU IV Cilacap”.

Tugas akhir yang diambil penulis dalam bidang Korosi dan Analisa Kegagalan berjudul “Analisa Kegagalan Komponen Spring Rod Dalam Spring Suspension Assembly Pada Coal Mill Tuban I Pt. Semen Indonesia Tbk”.

Email: ryantrikurniawan@gmail.com

(Halaman ini sengaja dikosongkan)